

**CARACTERIZACIÓN MECÁNICA Y QUÍMICA DEL SISTEMA
MORTERO-POLIUREA**



**LORAIN ISABEL VÁSQUEZ SUAREZ
NATALI CECILIA VILLADIEGO CARCAMO**

**UNIVERSIDAD DE LA COSTA – CUC
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL
BARRANQUILLA – ATLÁNTICO
2018**

**CARACTERIZACIÓN MECÁNICA Y QUÍMICA DEL SISTEMA
MORTERO-POLIUREA**

**LORAINÉ ISABEL VÁSQUEZ SUAREZ
NATALI CECILIA VILLADIEGO CARCAMO**

**TRABAJO DE GRADO PRESENTADO COMO REQUISITO DE GRADO
PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL**

**Director
HEIDIS PATRICIA CANO CUADRO PhD**

**Codirector
MALKA IRINA MORA CÁRDENAS PhD**

**UNIVERSIDAD DE LA COSTA – CUC
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE CIVIL Y AMBIENTAL
BARRANQUILLA – ATLÁNTICO
2018**

Nota de aceptación

Presidente de Jurado

Jurado

Jurado

Barranquilla, _____ 2018

Dedicatoria

¡Para ti Dios!

Este proyecto de grado está dedicado a Dios, porque sin su ayuda nada sería posible. A nuestros Padres, que con su amor y entrega nos han hecho sentir cada vez más cerca de cada meta alcanzada y por alcanzar.

Agradecimientos

¡Gracias Dios!

Porque con su ayuda obtenemos todos los deseos propuestos, siempre y cuando sea en su tiempo.

A mis padres, hermanos y tíos, que con solo mirarnos me motivan a seguir y alcanzar la meta. A nuestras tutoras Heidi Cano y Malka Mora por guiarme y dedicar su tiempo en este proyecto investigativo.

Al laboratorio INGEBOSC por abrirme las sus puertas de sus instalaciones y permitirme realizar cada uno de los ensayos.

Al ingeniero Hernán Chacón por mostrarme el camino de este arduo proyecto.

A mis amigos por su apoyo y buenos consejos brindados en todo este tiempo.

Loraine Isabel Vásquez Suarez.

A Dios primero que todo, quien nos permitió lograr la superación de los obstáculos que se presentaron a lo largo de este proceso, y mantenernos siempre con la motivación para alcanzar esta meta que ambos nos propusimos. A nuestros padres, pilares fundamentales en nuestro crecimiento y formación personal y profesional, A mi Hijo por siempre estar conmigo en todo momento, A la Ing. Heidis Cano, directora del proyecto de grado y nuestra Codirectora Ing. Malka Mora por su paciencia para con nosotros durante la elaboración de este proyecto. Por transmitirnos conocimientos los cuales serán de gran ayuda para nuestra vida laboral. A mi compañera y amiga, Ángela Morales estudiante de ingeniería civil de la Universidad de la Costa y mi compañera y amiga Gloria Alvarado Egresada de la Universidad de la Costa, por brindarnos su tiempo y colaboración durante la ejecución del proyecto.

Natali Cecilia Villadiego Cárcamo

Resumen

En este trabajo de investigación se prepararon morteros poliméricos adicionando distintos porcentajes de poliurea (2, 4 y 5 %) y evaluando sus propiedades mecánicas y estructurales mediante ensayos de compresión y microscopia electrónica de barrido (SEM) y comparándolas frente a un mortero control. Los resultados indicaron que existen dos factores que influyen en las propiedades del sistema, el tamaño de partícula y la cantidad de polímero adicionado, observándose una mayor resistencia a menor porcentaje de adición de poliurea y a menor tamaño de partícula. Bajo estas condiciones y tras la maduración del sistema a los 28 días, estos morteros poliméricos superan hasta en un 20% las propiedades mecánicas a compresión de los morteros de pega tradicionales. Esto probablemente sea consecuencia de la mejor adherencia alcanzada en la cicatriz polímero/cemento hidratado y a la menor cantidad de poros generados evitando la propagación de micro fisuras.

Palabras clave: Poliurea, mortero, resistencia a compresión, SEM

Abstract

In this research work, polymer mortars were prepared by adding different percentages of polyurea (2, 4 and 5%) and evaluating their mechanical and structural properties through compression tests and scanning electron microscopy (SEM) and comparing them against a control mortar. The results indicated that there are two factors that influence the properties of the system, the particle size and the amount of polymer added, with greater resistance being observed at a lower percentage of polyurea addition and a smaller particle size. Under these conditions and after the maturation of the system at 28 days, these polymer mortars exceed up to 20% the mechanical compression properties of traditional glue mortars. This is probably a consequence of the better adhesion achieved in the hydrated polymer / cement scar and the lower amount of pores generated, avoiding the propagation of micro cracks.

Keywords: Polyurea, mortar, compression strength, SEM

Contenido

1.	Introducción.....	15
1.1	Planteamiento del problema.....	17
1.2	Pregunta problema	18
1.3	Justificación.....	19
2.	Objetivos.....	20
2.1	Objetivo General.....	20
2.2	Objetivos específicos	20
3.	Marco referencial.....	21
3.1	Marco teórico.....	21
3.1.1	Mortero.....	21
3.1.1.1	Tipos de mortero.....	21
3.1.1.2	Especificaciones del mortero.....	23
3.1.1.3	Morteros para mampostería	26
3.1.1.4	Clasificación de los morteros de mampostería.....	26
3.1.1.5	Propiedades de los morteros en estado plástico.....	29
3.1.1.6	Propiedades de los morteros en estado endurecido.....	30
3.1.1.7	Granulometría recomendada para las arenas de morteros de pega y de relleno.....	32
3.1.1.8	Control de calidad de los morteros de pega.....	33
3.1.2	Componentes de un mortero.....	34
3.1.2.1	Cemento.....	34
3.1.2.2	Agua.....	36
3.1.2.3	Agregados.....	37
3.1.2.4	Proceso productivo.....	38
3.1.3	Morteros poliméricos.....	39
3.1.3.1	Características de los morteros poliméricos	42
3.1.4	Poliurea.....	42
3.1.4.1	Tipos de poliurea.....	43
3.1.4.2	Ventajas y propiedades de la poliurea.....	43

3.1.5	Técnicas de Caracterización.....	45
3.1.5.1	Ensayo de Compresión.....	45
3.1.5.2	Microscopía electrónica de barrido (SEM).....	47
3.2	Estado del arte.....	48
4.	Parte Experimental.....	52
4.1	Ensayo Granulométrico.....	52
4.2	Diseño de mortero.....	54
4.3	Diseño de morteros con adición de poliurea.....	60
4.3.1	Poliurea.....	60
4.3.2	Determinación de las cantidades de cada material para la elaboración del mortero polimérico.....	61
4.3.3	Cantidad de poliurea para cada mortero.....	63
4.3.4	Preparación de los morteros polimérico.....	63
4.3.5	Determinación de la resistencia a la compresión.....	65
4.3.6	Microscopio Electrónico de barrido (SEM).....	66
5.	Resultados Y Discusión.....	67
5.1	Evaluación de la influencia de los porcentajes de adición de poliurea en la resistencia de los morteros.....	67
5.1.1	Resistencia del mortero con tamaño de partícula tamiz número 30 y distintas adiciones de poliurea.....	68
5.1.2	Resistencia del mortero con tamaño de partícula retenido en el tamiz número 50 y distintas adiciones de poliurea.....	70
5.1.3	Resistencia del mortero con tamaños de particular retenido en el tamiz 100 y distintas adiciones de poliurea.....	73
5.2	Evaluación de la influencia del tamaño de la partícula en la resistencia de los morteros.....	75
5.3	Caracterización microestructural de los morteros mediante Microscopia Electrónica de Barrido (SEM).....	78
6.	Conclusiones.....	83
7.	Referencias.....	84
	Anexos.....	86

Lista de tablas y figuras

Tablas.

Tabla 1:	Especificación por propiedades, para morteros de cemento y cal, preparados en laboratorio (Salamanca Correa, 2001)	27
Tabla 2:	Especificación por proporciones, para morteros de cemento y cal (Salamanca Correa, 2001)	27
Tabla 3:	Fluidez recomendada del mortero para diversos tipos de estructura y condiciones de colocación (Florez, 2003).....	30
Tabla 4:	Tabla Granulométrica (De Guzman Sanchez, 2001).....	33
Tabla 5:	Límites mayores del contenido de sustancias - agua potable (Jahuana, 2015).....	36
Tabla 6:	Límites máximos de sustancias en aguas no potable (Jahuana, 2015).....	37
Tabla 7:	Peso aproximado (Invias, Invias -123, 2012)	52
Tabla 8:	Resultados obtenidos en el ensayo granulométrico (Invias, Invias -123, 2012).....	53
Tabla 9:	Módulo de finura obtenida de la granulometría.....	54
Tabla 10:	Fluidez recomendada del mortero para diversos tipos de estructura y condiciones de colocación (Florez, 2003).....	55
Tabla 11:	Peso Unitario suelto de la arena.....	58
Tabla 12:	Resultados de pruebas de laboratorio peso unitario seco.....	58
Tabla 13:	Densidad del cemento.....	59
Tabla 14:	Cantidad de cemento para 6 y 9 cubos (I.N.V.E, 2007).....	62
Tabla 15:	Tabla de cantidades utilizadas de cada material.....	64
Tabla 16:	Abreviaturas para identificar los distintos morteros fabricados.....	67
Tabla 17:	Resistencias obtenidas para una muestra control (MC) en los distintos días de curado.....	68
Tabla 18:	Resistencia a compresión de morteros con tamaño de partícula tamiz No. 30 y porcentaje de adición.....	69

Tabla 19:	Resistencias obtenidas para los morteros fabricados con distintos porcentajes de adición de poliurea de tamaño de partícula retenido en el tamiz No. 50.....	71
Tabla 20:	Resistencias obtenidas para los morteros preparados con 11% de adición de poliurea de tamaño de partícula retenido en el tamiz No. 50.....	73
Tabla 21:	Resistencias Obtenidas para los morteros fabricados con distintos porcentajes de adición de poliurea y tamaños de partícula retenido en el tamiz No.100.....	74
Tabla 22:	Comportamientos (Poliureas.es, 2018).....	87
Tabla 23:	Resistencia química de la poliurea (Poliureas.es, 2018).....	88
Tabla 24:	Rendimientos aproximados	89
Tabla 25	Resultados de resistencia a la tracción de morteros preparados con poliurea tamiz No. 50 con porcentaje de aditivo del 2%.....	102
Tabla 26	Resultados de resistencia a la tracción de morteros preparados con poliurea tamiz No. 50 con porcentaje de aditivo del 4%.....	107
Tabla 27:	Resultados de resistencia a la tracción de morteros preparados con poliurea tamiz No. 50 con porcentaje de aditivo del 5%.....	112
Tabla 28:	Resultados de resistencia a la tracción de morteros preparados con poliurea tamiz No. 50 con porcentaje de aditivo del 11%.	117
Tabla 29:	Resultados de resistencia a la tracción de morteros preparados con poliurea tamiz No. 50 sin aditivo.....	122

Figuras.

Figura 1:	Reacción de formación de poliurea.....	43
Figura 2:	Esquema de curva Granulométrica.....	54
Figura 3:	Determinación del contenido de cemento del diseño de mortero.....	56
Figura 4:	Relación Agua-Cemento.....	57
Figura 5:	Esquema Poliurea Esparcida en baldosas cerámicas.....	60
Figura 6:	Esquema Poliurea de dos componentes.....	61
Figura 7:	Clasificación de tamaño de poliurea.....	61
Figura 8:	Esquema de mezcla de los materiales en tara.....	64
Figura 9:	Fundida de morteros.....	65
Figura 10:	Compresión de morteros.....	66
Figura 11:	Grafica del % de resistencia Vs. días de curado de morteros con tamaño de partícula retenido en el tamiz No. 30 con diferentes porcentajes de aditivo.....	70
Figura 12:	Grafica del % de resistencia Vs. días de curado de morteros con tamaño de partícula retenido en el tamiz No. 50 con diferentes porcentajes de aditivo.....	72
Figura 13:	Grafica del % de resistencia Vs. días de curado de morteros con tamaño de partícula retenido en el tamiz No. 100 con diferentes porcentajes de aditivo.....	75
Figura 14:	Grafica del % de resistencia Vs. edad de curado de los morteros (2% de poliurea) con diferentes tamaños de partícula.....	76
Figura 15:	Gráfica del % de resistencia Vs. edad de curado de los morteros (4% de poliurea) con diferentes tamaños de partículas.....	77
Figura 16:	Grafica del % de resistencia Vs. edad de curado de los morteros (5% de poliurea) con diferentes tamaños de partícula.....	78
Figura 17:	Microfotografías de partículas de poliurea. Tamaño de partícula retenido en el tamiz No.30,50 y 100.....	79

Figura 18:	Microfotografía de mortero M50-2 a 28 días de curado. a.) M50-2 a 100X, b) M50-2 a 500X y c) M50-2 a 3000X. Etringita (E), Portlandita (P), silicato de calcio hidratado (CSH).....	80
Figura 19:	Microfotografía de mortero M50-2 a 28 días de curado. a.) M50-2 a 100X, b) M50-2 a 500X y c) M50-2 a 3000X. Etringita (E), Portlandita (P), silicato de calcio hidratado (CSH).....	81
Figura 20:	Microfotografía de mortero M50-5 a 28 días de curado. a) M50-5 a 100X, b) M50-5 a 500X y c, d) M50-5 a 3000X. Etringita (E), Portlandita (P), silicato de calcio hidratado (CSH).....	81
Figura 21:	Microfotografía de mortero M50-11 a 28 días de curado. a) M50-5 a 100X, b) M50-5 a 500X y c) M50-5 a 3000X., Etringita (E), silicato de calcio hidratado (CSH).....	82

Glosario de símbolos y términos

Aminas: Son compuestos químicos orgánicos que se consideran como derivados del amoníaco y resultan de la sustitución de uno o varios de los hidrógenos de la molécula de amoníaco por otros sustituyentes o radicales.

Baldosa:

Pieza delgada de arcilla cocida, terrazo u otro material que se emplea para recubrir los suelos.

Isocianato: Es un grupo químico con fórmula -N=C=O . Los compuestos orgánicos que presentan esta funcionalidad (R-NCO) son también denominados isocianato. Cuando una sustancia química presenta dos grupos isocianato se denomina di-isocianato. Los diisocianatos son compuestos fundamentales en la síntesis de poliuretano.

Sputtering: Es un proceso físico en el que se produce la vaporización de los átomos de un material sólido denominado "blanco" mediante el bombardeo de éste por iones energéticos.

Tamiz: Utensilio que se usa para separar las partes finas de las gruesas de algunas cosas y que está formado por una tela metálica o rejilla tupida que está sujeta a un aro, también es conocido por cedazo o criba.

CH	Hidróxido cálcico, Portlandita
CPO	Cemento Portland ordinario
CSH	Silicatos cálcicos hidratados, gel de tobermorita o gel de CSH
DRX	Difracción de rayos X
E	Etringita
Fe₂O₃	Óxido de hierro.
Ldc	Región de decarbonatación
Ldh	Región de deshidratación
Ldx	Región de deshidroxilación
nF	Nano hierro
MP	Muestra patrón o de referencia
Mpa	Megapascuales
PIM	Porosimetría por intrusión de mercurio
SP	Superplastificante

1. Introducción

El uso de morteros en la construcción civil ha sido muy diverso ya que en cualquier actividad se requiere un diseño de la infraestructura, las instalaciones y servicios, acorde con el funcionamiento y las necesidades de esta. Dentro de la globalidad de un proyecto, el mortero se constituye como un elemento muy importante ya que, debe soportar directamente todo el movimiento interno garantizando la capacidad resistente de todo el conjunto. A pesar de ello, las construcciones no siempre se diseñan teniendo en cuenta todas las condiciones mecánicas, físicas o químicas a que va a estar sometidos.

Es por esto que los morteros poliméricos son elaborados a base de cemento Portland con resinas poliméricas y agregados minerales con el propósito de mejorar la resistencia al desgaste del material, asegurando así la adherencia, la optimización de la trabajabilidad, los tiempos de utilización y aplicación a determinadas condiciones ambientales de humedad.

En los últimos años, la industria de la construcción se ha focalizado en fabricar materiales donde optimicen la resistencia y la capacidad de repuesta de elementos no estructurales partiendo de la utilización de materiales provenientes de residuos u otras fuentes que mejoren las propiedades químicas, físicas y/o mecánicas de los morteros y concretos. Para ello se han realizado diferentes estudios como el de (Duran, 2018) en donde determina los parámetros físicos-mecánicos de durabilidad del concreto utilizando materiales reciclables de construcción, (Cruz, 2016) en donde utiliza el mortero polimérico con fibras recicladas de residuos sólidos entre otros.

En construcciones civiles, la poliurea tradicionalmente se ha utilizado como material impermeabilizante, que puede soportar esfuerzos mecánicos y muchas deformaciones sin agrietarse o perforarse (Magazine, 2014). Aunque el desarrollo de las Poliureas está enfocado

hacia la impermeabilización de superficies, entre las que podemos nombrar pisos, piscinas, cubiertas, entre otras. Su uso dentro del sistema estructural de la edificación no ha sido estudiado ni implementado. Se puede decir también que las Poliureas incrementan la capacidad de resistencia a impactos aplicados en mamposterías convencionales (Poliureas.es, 2018), *No obstante*, a pesar de que existan evidencias experimentales que revelan el incremento de la capacidad de disipación de energía de elementos no estructurales cuando son cubiertos con Poliureas, no existen estudios que soporten la adición de poliurea a un mortero en forma de polvo o fibra.

Es significativo que se evalué esta variable y de esta manera tener acceso a una nueva alternativa para mejorar la capacidad de respuesta de elementos no estructurales.

Por ello, este proyecto se enfoca en la adición de poliurea en morteros con el fin de analizar las variaciones de las propiedades químicas y mecánicas de dicho sistema, caracterizando los morteros mediante el ensayo de microscopia electrónica de barrido (SEM) y ensayos de resistencia a compresión.

1.1 Planteamiento del problema.

Bosconia es un punto de referencia comercial en la Región Caribe Colombiana, centro agrícola y ganadero. Desde la década del 60 al 70 se inicia la construcción de la carretera que une al Departamento del Cesar con el Departamento del Magdalena (San Roque - Bosconia - Fundación) y desde entonces se ha convertido en un municipio próspero para sus habitantes. En la actualidad, en el municipio, se están desarrollando todo tipo de proyectos de infraestructura de alto impacto para el país como escenarios deportivos, edificaciones y la Ruta del Sol Sector III, cuya obra ingenieril es de gran impacto a nivel nacional ya que cuenta con dos corredores viales, el primero es San Roque (Cesar) - la Ye de Ciénaga (Magdalena) y el segundo es El Carmen de Bolívar (Bolívar) - Bosconia (Cesar) - Valledupar (Cesar). Dichos corredores hacen parte de la Ruta 45 y de la Ruta 80 de la Red Nacional de Vías de Colombia, y tienen una extensión aproximada de 465 Km que se enlazan a 601Km de los Sectores 1 y 2, (YUMA CONCESIONARIA, s. f.) los cuales facilitarán la conexión, del centro del país con la Costa Atlántica; además de cumplir el objetivo del Gobierno Nacional de mejorar la infraestructura vial para incrementar la competitividad, promover el crecimiento económico y mejorar la calidad de vida de los colombianos.

Sin embargo, la empresa constructora que realiza la ejecución de la ruta del Sol Sector III utiliza dinamita para el derrumbe de algunos cerros. Dichas explosiones afectan indirectamente las viviendas de los habitantes del Municipio, dado que estas no tienen suficiente capacidad de disipar la energía generada y por ende se ocasionan fracturas en las paredes y sistemas estructurales de las viviendas, por ello este estudio se focaliza en la caracterización mecánica y

química del sistema mortero-poliurea con el que se pretenden fabricar morteros poliméricos que a priori se espera tenga una mejor capacidad de respuesta frente a las vibraciones.

1.2 Pregunta problema

¿La presencia de poliurea en un mortero de pega modificará las propiedades mecánicas y químicas del sistema comparadas con un mortero de pega tradicional?

1.3 Justificación

El Municipio de Bosconia Cesar carece de una planificación adecuada para ejecutar obras de ingeniería, la falta de compromiso por parte de las empresas constructoras y la veeduría por parte de las administraciones locales harán que a corto plazo el Municipio presente serias dificultades en cuanto a la estabilidad de las viviendas de sus habitantes.

En medio de esta situación, y con ausencia de estudios prácticos que ayuden o den una solución sobre como mitigar estas fisuras en dichas viviendas, surge la idea de fabricar un mortero de pega polimérico a base de poliurea y de esta manera evitar las continuas grietas en dichas residencias. De ahí surge la visualización y proyección de un nuevo Municipio con todas las viviendas reforzadas por medio de este nuevo material, que de cumplir con las condiciones necesarias permitiría resolver una problemática actual.

2. Objetivos

2.1. Objetivo general

Evaluar la variación de las propiedades mecánicas y químicas de morteros de pega con diferentes contenidos de poliurea.

2.2. Objetivos específicos:

- Preparar morteros con diferentes adiciones de poliurea en forma de polvo.
- Caracterizar mecánicamente el sistema mortero-poliurea mediante ensayos de compresión.
- Analizar la variación de las propiedades mecánicas de los morteros obtenidos y compararlos con respecto a un mortero normal.
- Caracterizar los morteros obtenidos mediante microscopía electrónica de barrido (SEM).

3. Marco referencial

3.1. Marco teórico

3.1.1. Mortero

El mortero, en su definición más general es toda mezcla de cemento, arena y agua que puede tener o no una función estructural. Por ejemplo, los pañetes, no poseen función estructural, sin embargo, los morteros usados en mampostería (pega o relleno), o los usados para fundir elementos estructurales, sí poseen tal función (Salamanca Correa, 2001).

3.1.1.1. Tipos de mortero

De acuerdo con su *origen*, los morteros pueden ser premezclados en planta, premezclados secos, o elaborados en obra, de acuerdo con su dosificación (Salamanca Correa, 2001).

- Morteros premezclados húmedos.

Son los morteros constituidos por materiales cementantes, agregados, agua y eventualmente aditivos, los cuales son proporcionados y mezclados en planta. Puede tratarse de morteros convencionales o morteros de larga vida que permiten su almacenamiento en estado fresco hasta 48 horas, de forma que su proceso de fraguado sólo se inicia una vez entra en contacto con las unidades de mampostería (Salamanca Correa, 2001).

- Morteros premezclados secos.

Son los morteros constituidos por materiales cementantes, agregados secos y aditivos en polvo, los cuales son proporcionados y mezclados en planta. El proceso de mezclado del mortero seco debe concluirse en el sitio de la obra, con la adición controlada de agua, siguiendo recomendaciones del fabricante (Salamanca Correa, 2001).

Cuando hablamos de morteros debemos distinguir de cual tipo es, ya que existen dos familias de morteros según su *forma de endurecimiento* los aéreos y los hidráulicos.

- Morteros Aéreos

Tienen una característica particular, ya que endurecen bajo el dominio del aire al perder agua por secado al aire y fraguan lentamente por un proceso de carbonatación.

- Morteros Hidráulicos

Este tipo de morteros son aquellos que se preparan mediante una mezcla en seco de sus componentes, es decir, la arena, el aglomerante y los aditivos hidrofugantes.

Se encuentran distintos tipos de morteros, de acuerdo con los *materiales* que lo componen.

- Morteros calcáreos

Desde la antigüedad se sabe que la cal es un aditivo plastificante, es por ello por lo que los morteros elaborados en cal son más manejables, aunque es importante resaltar que estos no tienen altas resistencias, ya que tienen una baja velocidad de endurecimiento.

En la actualidad se conocen dos tipos de cales: Cal Aérea, son las de color blanco y la cal dolomítica, que es la de color gris. En este tipo de morteros la arena cumple una función primordial, evitar el agrietamiento y contracción del mortero, es por ello por lo que se exige que este tipo de morteros tenga partículas angulosas y además esté libre de materia orgánica, piedras grandes, polvo y arcilla.(Gutiérrez de López, 2003)

Las fracciones de cal - arena más empleadas en este tipo de morteros son 1:2 para pañetes y en el caso de mampostería simple son 1:3 o 1:4, cabe resaltar que, si estas fracciones aumentan, el mortero es más magro y es por ello que pierde ductilidad y trabajabilidad; en el caso de que sea más graso, puede suceder casos de contracciones y agrietamientos, estos casos suelen suceder en pañetes. En Colombia este tipo de morteros son utilizados especialmente en trabajos

de embellecimiento de interiores, donde se requieran esquinas perfectas y delicadeza en sus acabados (Gutiérrez de López, 2003).

- Mortero de cal y cemento Portland

Este tipo de morteros es utilizado para mejorar la trabajabilidad, retención de agua y altas resistencias iniciales, utilizando como base un mortero 1:3, se puede ir reemplazando porciones del cemento por cal.

Las fracciones utilizadas en este tipo de morteros varían de 1:0.025:2,25 a 1:1,5:3 (cemento: cal: arena por volumen) cabe resaltar que la cantidad de agua se encuentra dentro de amplios límites de acuerdo con la composición del mortero y con la consistencia deseada.

Si las fracciones de cemento son mayores a las expuestas, la resistencia en ese caso será alta y habrá poco tiempo entre amasado y colocación, de igual manera será más o menos trabajable y habrá concentración (3%) si está muy seco. De igual manera si la concentración de cal es mayor a la estipulada anteriormente tendrá menos resistencia y mayor tiempo entre amasado y colocación, este caso de morteros con mayor cantidad de cal será más plástico y permeable, pero tendrá mayor retención (9%) (Gutiérrez de López, 2003).

3.1.1.2. Especificaciones del mortero

Según Sánchez de Guzmán, (1996), el mortero puede contemplar grandes propiedades y características, las cuales nombraremos a continuación.

- Máxima y/o mínima fluidez : El mortero puede adaptarse a cualquier superficie, volumen, forma por motivo que no requiere dimensione este ofrece la posibilidad de adaptar sus propiedades a las exigencias que se deseen conforme a la composición y dosificación precisas (Mora, 2003).

- Retención mínima de agua: Un mortero tiende a conservar el agua precisa para hidratar la superficie de las partículas del conglomerante y árido, así como las burbujas de aire ocluido. (Mora, 2003).
- Empleo de arenas finas, medias o gruesas: Estas desempeñan un papel técnico muy importante en las características de este material, porque conforman la mayor parte del volumen total del mortero. Por ello, podríamos decir que la arena es la esencia del mortero (Mora, 2003).
- Contenido mínimo de aire incluido: Para dar adecuada durabilidad en ciertos climas, es decir, por medio del aire se crea unas pequeñas burbujas que son muy beneficiosas debido a su forma esférica y flexible que actúan como lubricante del mortero en estado fresco, mejorando la docilidad. Interrumpen la red capilar de la masa del mortero, impidiendo la penetración de agua y productos de la hidratación del cemento, protegiendo la masa del efecto de las heladas., Al incluir aire, disminuyen la densidad aparente del mortero fresco, lo cual, unido a lo anterior, tiende a evitar la segregación y exudación del mortero en estado fresco. (Mora, 2003).
- Resistencia a la compresión y/o flexiones mínimas: Necesarias, por consideraciones estructurales se obtienen conforme a los resultados del ensayo de probetas prismáticas de 40x40x160 mm de 28 días, conservadas en laboratorio según condiciones normalizadas. (Mora, 2003).
- Resistencia mínima de sobre diseño.
- Máxima relación agua - cemento – y/o contenido mínimo de cemento.

- Máximo contenido de cemento: Para evitar agrietamiento por exceso de temperatura se recomienda en zonas continuamente expuestas a elevadas temperaturas el uso de morteros aislantes o refractarios. (Mora, 2003).
- Máximo contenido de cemento para evitar agrietamiento por contracción en condiciones de baja humedad.
- Adición de cal hidratada: En una pasta mejora la trabajabilidad y la retención de agua, promueve a que se desarrollen cierta resistencia y contribuye a la durabilidad del mortero (Ne-en, 2011).
- Tipos especiales de cemento: Son los conglomerantes hidráulicos más empleados en la construcción debido a que están formados por mezclas de caliza, arcilla y yeso que son materiales muy abundantes en la naturaleza (Mora, 2003) y los agregados especiales pueden ser los reciclados que vienen de un tratamiento de materiales inorgánico que se ha utilizado previamente en la construcción y agregados artificiales que están constituidos por residuos de procesos industriales que comprende una modificación térmica (Mora, 2003).
- Uso de aditivos: Su función es aportar a las propiedades del mortero, tanto en estado fresco como endurecido, determinadas modificaciones bien definidas y con carácter permanente (Mora, 2003)

El mortero permite obtener acabados especiales ya que puede ser empleado en cualquier superficie y volumen, forma e intersticio (adaptabilidad formal). A diferencia de otros materiales los morteros no requieren especial sofisticación para su puesta en obra. Pueden ser aplicados manualmente o por proyección. (Mora O. R., 2003)

3.1.1.3. Morteros para mampostería

En un muro de mampostería el mortero representa entre un 10 y un 20% del volumen total del material; no obstante, su efecto en el comportamiento de la pared es mucho mayor de lo que indica tal porcentaje. Sus funciones son:

- Función estética: dar acabado al muro, colorido, textura, etc.
- Función estructural.
- Liga las unidades de mampostería.
- Sello para impedir penetración de aire y de agua
- Se adhiere al refuerzo de las juntas, a los amarres metálicos y a pernos anclados, de modo que los hace actuar conjuntamente.
- De ser mampostería reforzada envuelve, protege y actúa en unión de la armadura embebida.

3.1.1.4. Clasificación de los morteros de mampostería

De acuerdo con la norma ASTM C270, los morteros se clasifican, bien por sus propiedades, o por sus proporciones. Toda especificación debe hacerse por una sola categoría de las indicadas, pero no por ambas (son excluyentes).

La especificación por propiedades (resistencia a la compresión, retención de agua y contenido de aire), adquiere sentido para efectos de diseño con base en pruebas de laboratorio, mas no para morteros mezclados en obra. Se asume que las proporciones establecidas en laboratorio son las que se emplearán al mezclar en obra, esperándose del producto un comportamiento satisfactorio. En la Tabla 1 se muestra tal clasificación, referida a los morteros de cemento y cal.

Las especificaciones por proporciones se basan en el conocimiento previo de los pesos unitarios de los materiales componentes del mortero; en la Tabla 2 se muestra tal clasificación para los morteros de cemento y cal (Salamanca Correa, 2001).

Tabla 1.

Especificación por propiedades, para morteros de cemento y cal, preparados en laboratorio. Fuente: (Salamanca Correa, 2001)

Tipo de mortero	Resistencia mínima a la compresión a 28 días, kg/cm ² (Mpa)	Retención mínima de agua %	Contenido máximo de aire	Relación de agregados (medida en condición húmeda y suelta)
M	175 (17.0)	75	12	No menor que 2,25 y no mayor que 3,5 veces la suma de los volúmenes separados de materiales cementantes
S	125 (12.5)	75	12	
N	50 (5.0)	75	14-	
O	25 (2.5)	75	14-	

Nota: Fuente: Elaboración de (Salamanca Correa, 2001).

Tabla 2.

Especificación por proporciones, para morteros de cemento y cal. Fuente: (Salamanca Correa, 2001).

Tipo de Mortero	Proporciones por volumen (materiales cementantes)		Relación de agregados (medida en condición húmeda y suelta)
	Cementos Portland o Portland Adicionado	Cal hidratada o apagada	
M	1	0,25	No menor que 2,25 y no mayor que 3,5 veces la suma de los volúmenes separados de materiales cementantes
S	1	0,25 a 0,50	
N	1	0,50 a 1,25	
O	1	1,25 a 2,50	

Nota: Fuente: Elaboración de (Salamanca Correa, 2001).

En la práctica lo recomendable es especificar el mortero con la resistencia más baja, que se ajuste a los requisitos del trabajo. Es importante anotar además que:

- Cuando se especifique un mortero de resistencia baja, éste no puede ser suplantado indiscriminadamente por otro de mayor resistencia.
- No se deben cambiar las proporciones del mortero premezclado diseñado para una obra en particular, ni utilizar materiales con características físicas distintas en la mezcla, a salvo que se restituya su conformidad con las obligaciones de la norma. (Correa, tecnología de los morteros , 2001)
- Características del mortero tipo M
- Es una mezcla de alta resistencia.
- Brinda más durabilidad a diferencia de otros morteros.
- Se recomienda para mampostería reforzada y/o sin refuerzo, pero sometida a grandes cargas de compresión para cuando se presenta congelamiento, altas cargas laterales de tierra, vientos fuertes y temblores.
- Se debe emplear en estructuras en contacto con el suelo: muros de contención, cimentaciones, aceras, pozos, tuberías de aguas negras etc. (Correa, tecnología de los morteros , 2001)

Características mortero tipo S:

Es un mortero que logra la más alta característica de adherencia que un mortero puede lograr. Debe utilizarse para las estructuras sometidas a cargas de compresión normales, pero que demanden a la vez de una alta característica de adherencia. Debe usarse en aquellos casos en los que el mortero es el único agente de adherencia con la pared, como en el caso de revestimientos cerámicos, baldosines de barro cocido, etc. (Correa, tecnología de los morteros , 2001)

a) Mortero tipo 'N':

Es un mortero de propósito general, para ser utilizado en estructuras de mampostería sobre el nivel del suelo. Es bueno en enchapes de mampostería, paredes internas y divisiones. Representa la mejor combinación. (Correa, tecnología de los morteros , 2001)

b) Mortero tipo 'O':

Es un mortero de baja resistencia y con un alto contenido de cal. puede usarse en paredes y divisiones sin carga o para revestimientos exteriores que no estén sometidos a congelamiento, aun cuando puedan estar húmedos. Son usuales en construcciones de vivienda de uno o dos pisos, por su excelente trabajabilidad y bajo costo, son morteros preferidos por los albañiles. (Correa, tecnología de los morteros , 2001)

3.1.1.5. *Propiedades de los morteros en estado plástico*

- *Manejabilidad*

Es una medida de la facilidad de manipulación de la mezcla, es decir, de la facilidad para dejarse manejar. La manejabilidad está relacionada con la consistencia de la mezcla en cuanto a blanda o seca, tal que como se encuentra en estado plástico; depende de la proporción de arena y cemento y de la forma, textura y módulo de finura de la arena. Para medir la manejabilidad del mortero se usa el ensayo de fluidez descrito en la Norma NTC No. 111, aunque en la práctica, hasta ahora, se ha definido por la apreciación del albañil. En la Tabla 3 se recomienda una manejabilidad para diferentes tipos de mortero de acuerdo con los tipos de construcción y a los sistemas de colocación. (Florez, 2003)

- *Retención de agua*

Se refiere a la capacidad del mortero de mantener su plasticidad cuando queda en contacto con la superficie sobre la que va a ser colocado, por ejemplo, un ladrillo. Para mejorar la

retención de agua se puede agregar cal, o aumentar el contenido de finos en la arena, o emplear aditivos plastificantes o incorporadores de aire. La retención de agua influye en la velocidad de endurecimiento y en la resistencia final, pues un mortero que no retenga el agua no permite la hidratación del cemento. (Florez, 2003)

- *Velocidad de endurecimiento*

Los tiempos de fraguado final e inicial de un mortero están entre 2 y 24 horas; dependen de la composición de la mezcla y de las condiciones ambientales como el clima y humedad. (Florez, 2003)

Tabla 3.

Fluidez recomendada del mortero para diversos tipos de estructura y condiciones de colocación.

Fuente: (Florez, 2003)

Consistencia	Fluidez %	Condición de Colocación	Ejemplo de tipos de Estructura	Ejemplo De Sistema De Colocación
Dura(seca)	80-100	Selecciones sujetas a vibración	Reparaciones recubrimiento de túneles, galerías pantallas de cimentaciones, pisos.	manual
Media (plástica)	100-120	Sin vibraciones	Pega de mampostería baldosines, pañetes y revestimiento.	Manual con palas palustres
Fluida (húmeda)	120-150	Sin vibración	Pañetes, rellenos de mampostería baldosines, estructura, mortero, autonivelantes para pisos.	Manual, bombeo inyección.

Nota: Fuente: Elaboración de (Florez, 2003).

3.1.1.6. Propiedades de los morteros en estado endurecido

- *Retracción*

Se debe principalmente a la retracción de la pasta de cemento y se ve aumentada cuando el mortero tiene altos contenidos de cemento. Para mejorar esta retracción y evitar agrietamientos es conveniente utilizar arenas con granos de textura rugosa, y tener en cuenta además que en

clima caliente y de muchos vientos, el agua tiende a evaporarse más rápidamente produciendo tensiones internas en el mortero, que se traducen en grietas visibles. La retracción es proporcional al espesor de la capa, a la riqueza en cemento de la mezcla y a la mayor absorción de la pared sobre la que se vaya a aplicar. (Florez, 2003)

- *Adherencia*

Es la capacidad de absorber, tensiones normales y tangenciales a la superficie que une el mortero y una estructura, es decir a la capacidad de responder monolíticamente con las piezas que une ante solicitudes de carga. En el caso de la mampostería, para obtener una buena adherencia es necesario que la superficie sobre la que se va a colocar el mortero sea tan rugosa como sea posible y tenga una absorción adecuada, comparable con la del mortero. (Florez, 2003)

- *Resistencia*

Si el mortero es utilizado como pega, debe proporcionar una unión resistente. Si el mortero va a ser utilizado para soportar cargas altas y sucesos, tal es el caso de la mampostería estructural, debe poseer una alta resistencia a la compresión. Para diseñar morteros de alta resistencia se debe tener en cuenta que para un mismo cemento y un mismo tipo de agregado fino, el mortero más resistente y más impermeable será aquel que contenga mayor contenido de cemento para un volumen dado de mortero; y que para un mismo contenido de cemento en un volumen determinado de mortero el más resistente y probablemente el más impermeable será aquel mortero que presente mayor densidad, o sea aquel que en la unidad de volumen contenga el mayor porcentaje de materiales sólidos. El tamaño de los granos de la arena juega un papel importante en la resistencia del mortero; un mortero hecho con arena fina será menos denso que un mortero hecho con arena gruesa para un mismo contenido de cemento. Por último, el contenido de agua del mortero tiene influencia sobre su resistencia; los morteros secos dan

mayor resistencia que los morteros húmedos, porque pueden ser más densamente compactados. (Lopez, 2003)

- *Durabilidad*

Al igual que en el concreto, la durabilidad se define como la resistencia que presenta el mortero ante agentes externos como: baja temperatura, penetración de agua, desgaste por abrasión y agentes corrosivos. En general, se puede decir que morteros de alta resistencia a la compresión tienen buena durabilidad. (Lopez, 2003)

- *Apariencia*

La apariencia del mortero después de fraguado juega un importante papel en las mamposterías de ladrillo a la vista; para lograr una buena apariencia es necesario aplicar morteros de buena plasticidad. (Lopez, 2003)

3.1.1.7. Granulometría recomendada para las arenas de morteros de pega y de relleno

Por normatividad es recomendable un uso granulométrico que depende de qué tipo de arena es, natural o de trituración, como se presenta en la Tabla 4. (De Guzman Sanchez, 2001)

Como recomendación adicional, según la granulometría: no basta solamente con el cumplimiento de la granulometría, sino que además deben considerarse otros parámetros de importancia descritos así:

1. La arena no debe tener más del 50% retenido entre dos tamices consecutivos, ni más del 25% retenido en el tamiz de 0,15 mm (No. 100) Y que pase del tamiz de 0,30 mm (No. 50).

2. Si el módulo de finura varía en más de 0,20 del valor asumido para escoger las proporciones del mortero, la arena debe rechazarse a menos que se modifiquen las proporciones de la mezcla para compensar el cambio.

3. Cuando la junta tenga más de 10 mm de espesor, es conveniente usar arenas más gruesas.

4. Cuando las juntas sean muy delgadas se usan arenas que pasan totalmente el tamiz de 2,4 mm (No. 8) y 95% el tamiz de 1,2 mm (No. 16). (De Guzman Sanchez, 2001)

Tabla 4.

Tabla Granulométrica.

% Que pasa el tamiz mm (N0.)	Arena natural	Arena de Trituración	Arena para concreto
4.8 (No. 4)	100	100	95-100
2.4 (No. 8)	95-100	95-100	80-100
1.2 (No. 16)	70-100	70-100	50-85
0.6 (No. 30)	40-75	40-75	25-60
0.3 (No. 50)	10-35	20-40	10-30
0.15 (No. 100)	2-15	10-25	2-10
0.75 (No. 200)	0.0	0-10	-----
Módulo de finura	2.83-1.75	2.65-1.60	3.38-2.15

Nota: Fuente: Elaboración de (De Guzman Sanchez, 2001)

3.1.1.8. Control de calidad de los morteros de pega

- Resistencia a compresión: Se controla mediante la elaboración de cubos de mortero de 5 cm de arista, o de cilindros de 7,5 cm (3") de diámetro y 15 cm (6") de altura; o de cilindros de 10 cm (4") de diámetro y 20 cm (8") de altura. El uso de los cubos, siendo un procedimiento dispendioso y de cuidado, más apropiado para laboratorio, no es recomendable en obra. Es preferible el uso de cilindros, fundidos en tres capas, 25 golpes, varilla redondeada de 9,5 mm, mazo de caucho, etc.; los ensayos usuales son a 7 y 28 días de edad. (Correa, tecnología de los morteros , 2001)

- Ensayo de retención de agua: Es un ensayo mediante el cual una muestra de mortero se somete a succión mediante un aparato que, permite aplicar vacío de 50,8 mm de mercurio durante 60 segundos, de acuerdo con la Norma ASTM C916. El valor del flujo obtenido después de este tratamiento, expresado como porcentaje del flujo medido antes de la succión, es la capacidad de retención de agua del mortero. (Correa, tecnología de los morteros , 2001)

3.1.2. Componentes de un mortero

3.1.2.1. *Cemento*

El cemento representa parte de los materiales de construcción básicos hoy día y, probablemente, siga siéndolo a lo largo de muchos años. Es el principal componente de otro de los productos con más influencia dentro de este sector, como lo es el mortero. En la actualidad, el uso de estos elementos ha sufrido un claro descenso. Se establece que durante el mes de marzo de 2013 se alcanzó la cifra de 0,78 millones de toneladas lo que supone un descenso interanual de 39,8% (Alma & Arquitectura, s. f.). Por otro lado, informes de Oficien, indican que la cifra acumulada de los tres primeros meses del año sitúa el consumo en 2,54 millones de toneladas, con un descenso interanual del 29,3%, mientras que, en el conjunto de los últimos doce meses, el consumo es de 12,38 millones de toneladas, esto es un 33.8% menos de los consumido un año antes. Sin embargo, las principales empresas cementeras plantean nuevos procesos de innovación para sobrevivir al futuro (Alma & Arquitectura, s. f.).

El cemento está conformado por el material aglomerante de la mezcla de concreto, que ocupa entre el 7% y el 15% de volumen de la mezcla («IMCYC», s. f.) y aunque no tiene la mayor presencia logra el efecto principal del concreto y por el que se ha convertido tan importante. El cemento posee propiedades adherencia y cohesión que proveen a su vez la resistencia a la

compresión, además de ello con adición de agua forma una pasta conglomerante capaz de endurecer tanto en el agua como en el aire.

El tipo de cemento principalmente utilizado para la fabricación de concreto es el cemento de tipo hidráulico y el más famoso de ellos es el cemento portland. Cabe hacer la aclaración respecto a la definición de estos dos tipos de cemento.

- Cemento hidráulico: Cemento que fragua y endurece por la interacción química con el agua, tanto al aire como bajo agua, a causa de las reacciones de hidratación de sus constituyentes, dando lugar a productos hidratados mecánicamente resistentes y estables (Quiroz & Salamanca, 2006).
- Cemento Portland: Es el producto que se obtiene de la pulverización del Clinker Portland con la adición de una o más formas de sulfato de calcio, este admite la adición de otros productos siempre y cuando no afecte las propiedades del cemento resultante ((NTC), s. f.).

A pesar de las definiciones que se tienen del cemento algunas fuentes afirman que el proceso de fabricación del cemento y por ende sus componentes han cambiado a lo largo de la historia; (Porrero, Ramos, Grases, & Velazco, 2014) afirma: “El cemento o Portland que se usa hoy día como conglomerante es una cal hidráulica perfeccionada. Hidráulica quiere decir que tiene capacidad para endurecer tanto al aire como bajo el agua, sin la colaboración del anhídrido carbónico, como sucedía con las primitivas cales. Lo económico del material se debe a que las materias primas que emplea son relativamente abundantes en la naturaleza, y a las ventajas competitivas que ofrece frente a otros materiales de construcción (Porrero et al., 2014).

De todos los cementos desarrollados, el cemento Portland, patentado en Inglaterra en 1824, es el que se emplea hoy en la mayoría de las estructuras de hormigón. Su nombre deriva de la semejanza en apariencia, en el estado endurecido, con la piedra Portland de Inglaterra.

Las materias primas básicas para la elaboración del cemento son materiales calcáreos tales como caliza, alúmina y sílice que son encontrados como arcilla o pizarra; se ha reemplazado el yeso por marga y en los últimos años como se mencionó anteriormente se ha adicionado material puzolánico, que puede ser en su estado natural como tierra de diatomeas, rocas opalinas, esquistos, cenizas volcánicas, o material calcinado.

3.1.2.2. Agua

El agua no debe contener sustancias en suspensión o disueltas que alteren el fraguado del cemento. Las aguas muy puras (lluvia) son ácidas si el $\text{pH} < 7$.

Agua potable es incolora, inodora, insípida, fresca y no contiene materia orgánica.

La Tabla 5 muestra los límites superiores del contenido de sustancias en el agua potable mientras que la Tabla 6 nos indica los Límites máximos de sustancias en aguas no potables. (Jahuana, 2015)

Tabla 5.

Límites mayores del contenido de sustancias - agua potable.

Sustancia	Miligramos por litro
Cloro	60
Ácido sulfúrico	50
Cal	150
Magnesia	50
Materia orgánica	3
Amoníaco libre por destilación	0,02
Ácido nítrico	20

Nota: Fuente: Elaboración de (Jahuana, 2015)

Tabla 6.

Límites máximos de sustancias en aguas no potables.

Sustancia	gramos/litro
Anhídrido sulfúrico	0,3
Materia orgánica	0,03
Sulfuros expresados en azufres	0,05
Cloruros	10
Ph	6<pH<8

Nota: Fuente: Elaboración de (Jahuana, 2015)

3.1.2.3. Agregados:

El término agregado hace referencia por lo general a un material inerte el cual es el resultado de la desintegración natural de las rocas y este proceso se da dependiendo el tipo de esta. Otra forma de generación es por explotación y trituración manual en las denominadas canteras en donde los procesos a los que se somete le permiten tener una textura, forma, resistencia y tamaño estables

El agregado puede clasificarse según diversos criterios como su forma, su procedencia o su tamaño y la escogencia de ellos depende del uso que se le desee dar al agregado, por lo general para diseño de mezclas de concreto se tiende a clasificar por tamaños (en mm) de las partículas de la masa de agregado. Su clasificación entonces se presenta de la siguiente forma:

- Agregados naturales: Formados por procesos geológicos.

- Agregados artificiales: Proviene de un proceso de transformación de los agregados naturales, dichos agregados artificiales son productos secundarios. Algunos de estos agregados son los que constituyen la escoria siderúrgica, la arcilla horneada, el hormigón reciclado, piedra triturada (chancada), etc.

Piedra triturada: Producto que resulta de la trituración artificial de rocas, piedra boleada o pedruscos grandes, del cual todas las caras poseen aristas bien definidas, resultado de la operación de trituración.

Escoria siderúrgica: Residuo mineral no metálico, que consta en esencia de silicatos y aluminosilicatos de calcio y otras bases, y que se produce simultáneamente con la obtención del hierro. (Universidad de San Simón, 2006)

3.1.2.4 Proceso productivo

Como mencionábamos anteriormente, los morteros pueden emplearse en la construcción de muros de ladrillos o bloques, como pega entre ellos o como revestimientos.

La dosificación puede hacerse por volumen, pero es preferible por peso, siempre utilizando un recipiente de volumen conocido y, en lo posible, utilizar mezcladores mecánicos. El orden recomendado es $\frac{3}{4}$ del agua requerida y $\frac{1}{2}$ de la arena y todo el cemento, mezclar por unos minutos y luego agregar el resto de los materiales. El tiempo de mezclado debe ser entre 4 a 5 minutos, ya que es el necesario para obtener uniformidad sin segregación en la mezcla.

Si el mezclado se realiza manualmente (recomendado solo para trabajos menores) entonces el orden debería ser: primero mezclar la arena, el cemento, y la cal, el mezclado debe hacerse en seco. Con ayuda de una pala removeremos la mezcla hasta que la veamos completamente uniforme. Como segundo paso se hace un pequeño hueco en el centro donde se irá incluyendo el agua poco a poco mientras mezclamos, hasta obtener una mezcla de aspecto plástico y buena consistencia. Es importante tener en cuenta que la superficie donde se realiza debe ser dura, limpia y no absorbente.

Después de mezclarse los morteros deben usarse antes de que se inicie la hidratación del cemento por contacto con el agua natural de la arena. En ningún caso se pueden utilizar después de 2 horas y media de haber sido mezclados, excepto los morteros de larga vida.

Antes de empezar con la actividad es importante tener en cuenta que las piezas de ladrillo o bloque por su propia naturaleza deben humedecerse antes de colocarlos, debido a su capacidad de absorción. Si no se mojan los bloques antes de su colocación, se corre el riesgo de que, al aplicar el mortero de las juntas, parte del agua de la mezcla sea succionada, deshidratando el mortero y haciéndolo perder adherencia. Sin embargo, tampoco se debe saturar en exceso porque causaríamos el efecto contrario, incrementaríamos el agua en la mezcla y se reduciría la resistencia. Algunos estudios indican que es recomendable sumergirlo en agua durante al menos 2 horas.

Por último, es importante luego de la colocación, tener en cuenta los cuidados que se le deben dar al mortero para prolongar su vida útil; un buen curado ayuda a permitir la hidratación del cemento. El curado debe hacerse por lo menos los tres primeros días, y sobre todo en las zonas más cercanas a la superficie y más expuestas. (Blog 360° Argos, s. f.).

3.1.3. Morteros poliméricos

Con la asociación de resinas poliméricas a un mortero propuesto a la distribución de recubrimientos rígidos modulares se da un impulso cualitativo fundamental al progreso de las propiedades en fresco y finales. A continuación, hablaremos de los adhesivos cementosos para nombrar unos materiales que se especifican por tener un comportamiento en fresco que:

- > Permite asegurar la adherencia con grosores pequeños del adhesivo, desde 1 mm, dado su poder de retención de agua.

> Mejora la trabajabilidad y capacidad humectante, al actuar las partículas poliméricas como rodamientos, y por su capacidad re dispersante y oclusora de aire.

> Consiente una conducta reológico tixotrópico en la distribución de las baldosas; es decir, un adhesivo fluido cuando practicamos una fuerza de cizalladura y que se vuelve viscoso cuando finaliza esa fuerza. Característica que ayuda la estabilidad del adherente sobre el adhesivo antes de la maduración, fundamentalmente ante el descuelgue en superficies verticales.

> Acorta los tiempos de uso, aplicación y maduración, asegurando la adherencia en determinadas condiciones ambientales de humedad y temperatura.

Pero es en las características finales tras la maduración donde se superan las propiedades de los morteros tradicionales. En primer lugar, la adherencia, por la mejor unión entre el cemento hidratado y los agregados, pero también por el efecto de puenteado que ejerce la membrana polimérica ante la propagación de micro fisuras, consecuencia de fuerzas aplicadas sobre la unión adhesiva. Además, en función del tipo de resinas utilizadas y la proporción polímero/cemento, obtenemos:

- Menores contracciones de secado y maduración, junto a una mejor hidratación del cemento.
- Unión adhesiva de menor porosidad, con reducción también del tamaño de los poros, con repercusión directa sobre la impermeabilidad y resistencia a ciclos de hielo/deshielo, así como otras características asociadas a la durabilidad de esa unión.
- Un buen anclaje sobre superficies lisas e inabsorbentes.
- Mayor resistencia mecánica a la tracción, flexión, impacto y abrasión, como consecuencia de la cohesión alcanzada en la cicatriz polímero/cemento hidratado. Este incremento de la resistencia mecánica es función de la naturaleza de los componentes del

adhesivo, de los factores de mezcla y del proceso de maduración. Los valores obtenidos son también función del método de ensayo adoptado.

- Capacidad deformable en función del comportamiento viscoelástico de las resinas poliméricas incorporadas.

- > Mantenimiento de la adherencia en condiciones de alta temperatura (hasta 150-170 °C).

El mecanismo de formación de la co-matriz polímero/cemento hidratado puede resumirse en tres fases que explican las propiedades en fresco y tras maduración de los adhesivos cementosos:

En una primera fase, la resina polimérica se dispersa uniformemente en la pasta de cemento y arena, iniciándose el proceso de hidratación a la vez que las partículas de polímero se depositan alrededor del cemento no hidratado. A su vez, el agua de mezcla se satura de hidróxido cálcico que reacciona con la sílice de la arena formando silicato cálcico. La presencia de cristales de hidróxido cálcico en la superficie de las partículas del árido junto con la resina tiene su efecto sobre las propiedades finales del adhesivo.

En una segunda fase, el avance de la hidratación provoca la ocupación progresiva de los poros por parte de la resina, que inicia un proceso de floculación alrededor del silicato cálcico hidratado y de las partículas de árido. La concordancia entre el tamaño de los poros formados en la pasta de cemento durante la hidratación y el tamaño de las partículas del polímero explica ese posicionamiento. Al mismo tiempo tienen lugar reacciones químicas entre las resinas poliméricas, los iones Ca^{2+} y los silicatos e hidróxido cálcico formados en la superficie del árido, responsables de la unión entre los hidratos de cemento y el árido. El único punto débil de esta unión es la presencia de aire, favorecida por la presencia de emulsionantes y estabilizadores en la composición de las resinas y que, en parte, se controla con la inclusión de agentes antiespumantes.

En una tercera y última fase, una vez consumida el agua en el proceso de hidratación, el polímero endurecido envuelve al cemento hidratado y el árido en forma de membrana continua, creando una estructura monolítica responsable de las propiedades finales.

La proyección de morteros poliméricos tiene como finalidad revestir la estructura, protegiéndola y dándole acabado estético a la obra. (Ceramica)

3.1.3.1. Características de los morteros poliméricos

- Protección del sustrato contra los más diversos tipos de agentes agresivos
- Impermeabilización de la estructura expuesta a presiones hidrostáticas positivas y negativas
- Recuperación estructural del hormigón
- Acabado estético. (Blog 360° Argos, s. f.)

3.1.4. Poliurea

La poliurea es un polímero sintético obtenido de la reacción de una diamina con un disocianato, esta reacción de polimerización es muy parecida a la del poliuretano, pero en el caso de la poliurea el enlace resultante es de tipo "urea", por esto es llamada poliurea, como se muestra en la Figura 1.

Las Poliureas hacen parte de la familia de polímeros sintéticos que se logran de la reacción de un diisocianato con una diamina. Es una reacción de polimerización por condensación análoga a la del poliuretano, excepto porque en ese caso el enlace no es de tipo uretano (formado con un grupo hidroxilo) sino de tipo urea (formado con una amina), por esto es llamada poliurea.

La reacción general de las Poliureas incluye un diisocianato y una diamina; por ende, los diferentes polímeros logrados dependerán del número y tipo de grupos presentes entre los grupos amino de la diamina y los grupos isocianato.

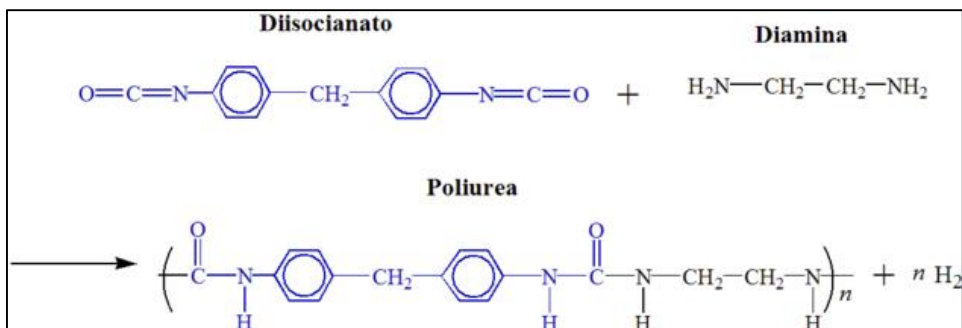


Figura 1: Reacción de formación de poliurea. Fuente: Elaboración “Google imágenes”

3.1.4.1. Tipos de poliurea

La poliurea, en función de su estructura química, puede ser de dos tipos: alifática o aromática.

La poliurea aromática: Es más tenaz y no son resistentes a la exposición de los rayos UV, generando cierta palidez y pérdida de brillo, lo que no la hace recomendable para aplicaciones de tipo “cara vista” (Tecnopol, s. f.).

La poliurea alifática: Es resistente a la radiación UV por lo que es excelente como capa de acabado. El coste de las materias primas para fabricarla hace que esta poliurea tenga un precio más elevado (Tecnopol, s. f.).

3.1.4.2. Ventajas y propiedades de la poliurea

Son muchas las ventajas y propiedades de la membrana de poliurea, a continuación, se detallan las más importantes: Membrana sin juntas ni solapes y de máxima flexibilidad – elongación de hasta 600% (Tecnopol, s. f.).

- a) Curado en 4 segundos, puesta en servicio en menos de 24 horas.
- b) Recubrimiento de cualquier geometría o forma irregular existente de forma completamente adherida.
- c) Máxima adherencia sobre cualquier soporte.
- d) Insensibilidad al agua y a la humedad.
- e) Aplicable sobre cualquier tipo de sustrato.

- f) Solidez en un 100% (VOC's Zero)
- g) Alta densidad y estanqueidad.
- h) Resistente a la abrasión, compresión, desgarró.
- i) Resistente a los rayos U.V.
- j) Resistente frente a medios ácidos o alcalinos y a diversos agentes químicos.
- k) Resistente a los efectos climatológicos.
- l) Ofrece excelente protección ante la corrosión.
- m) Resistencia química.
- n) Antiraíces.
- o) Rango de temperatura de trabajo desde -40°C hasta +180°C.
- p) Exento de disolventes.
- q) Excelente estabilidad durante el almacenamiento, estable a temperaturas frías.
- r) Aplicable en condiciones de humedad de soporte.

Las distintas propiedades de la poliurea hacen que el producto al ser aplicado tenga como efecto la impermeabilización, protección y durabilidad para su uso, además las indefinidas posibilidades de coloración de la poliurea también hacen que sus múltiples aplicaciones jueguen un papel muy importante en el aspecto estético en las obras civiles. La adaptabilidad y la adherencia de la poliurea permiten su uso en casi cualquier aplicación con requerimientos de impermeabilización y/o protección, sintetizando lo anterior se puede destacar de las propiedades de la poliuria:

En la impermeabilización la protección anticorrosión sobre acero, hormigón también en cubiertas, terrazas, balcones, voladizos y depósitos (con certificados de no migración a agua potable / etanol). (Tecnopol, 1996)

En los revestimientos de vehículos, puentes (bajo asfalto), en elementos del sector civil y en el revestimiento protector de cualquier elemento constructivo, sea cual sea su geometría.

(Tecnopol, 1996)

En cubiertas de metal, galvanizadas, de chapa, de zinc, prelacadas y de fibrocemento para su encapsulamiento; cubiertas y fachadas ajardinadas, muros, cimentaciones enterrados, pavimentos y cubiertas de aparcamientos con tráfico rodado. (Tecnopol, 1996)

Otros usos:

- Instalaciones industriales y de producción.
- Plantas energéticas, de reciclaje y de tratamiento y almacén de residuos.
- Piscifactorías, depuradoras y petroquímicas.
- Zonas con pavimentos antiestáticos.
- Protección al fuego (pavimentos y recubrimientos).
- Mercado naval.
- Tematización de parques de atracciones, ferias y exposiciones. (Tecnopol, 1996)

3.1.5. Técnicas de Caracterización

3.1.5.1. Ensayo de Compresión

Determina los esfuerzos de compresión de morteros de cemento hidráulico, usando cubos de 50 mm o (2") de lado. La compresión se medirá sobre dos (2) cubos de 50 mm o (2") compactados en dos (2) capas, serán curados un día en los moldes y se desmoldarán y sumergirán en agua-cal hasta su ensayo.

Las proporciones en masa para formar el mortero están compuestas de 1 parte de cemento y 2,75 partes de arena normalizada, los cementos Portland con incorporadores de aire son mezclados con una relación agua/cemento especificada para los demás

cementos la cantidad de agua de amasado que debe ser aquella que produzca una fluidez de 110 ± 5 en 25 golpes en la mesa de flujo. En este ensayo se determina la resistencia a la compresión con los cubos que van a ser ensayados a las 24 horas, que se sacan de la cámara húmeda cubriéndolos con un paño húmedo, mientras se van pasando a la máquina. Para los otros cubos, se deben sacar del tanque de almacenamiento uno a uno y probarse inmediatamente. Todos los cubos se ensayarán dentro de las siguientes tolerancias de tiempo: a las 24 horas $\pm 1/2$ hora; a los 3 días ± 1 hora; a los 7 días ± 3 horas, a los 28 días ± 12 horas y a los 56 días ± 24 horas. Los cubos se deberán secar y dejarse limpios de arena suelta o incrustaciones en las caras que van a estar en contacto con los bloques de la máquina de ensayo. Se debe comprobar por medio de una regla, que las caras están perfectamente planas, si hay una curvatura apreciable se pueden limar las caras o desechar el espécimen. Se coloca cuidadosamente el espécimen en la máquina de ensayo, debajo del centro de la parte superior de la máquina, comprobándose antes de ensayar cada cubo, que la rótula gira libremente en cualquier dirección. No se usarán amortiguadores entre el cubo y los bloques de carga. Se aplica una proporción de carga a una proporción relativa de movimiento entre el plato superior y el inferior que corresponda a una carga aplicada al cubo en el rango de 900 N/segundo a 1800 N/segundo, la proporción del movimiento se obtiene durante la primera mitad de la carga máxima, no se hará ningún ajuste a la proporción de movimiento del plato en la siguiente mitad del ensayo. (I.N.V.E, 2007)

3.1.5.2. Microscopía electrónica de barrido (SEM)

La microscopia electrónica de barrido o SEM se basa en el principio de la microscopia óptica en la que se sustituye el haz de luz por un haz de electrones. Con esto conseguimos hasta los 100 Å, resolución muy superior a cualquier instrumento óptico.

Su funcionamiento consiste en hacer incidir un barrido de haz de electrones sobre la muestra. La muestra (salvo que ya sea conductora) está generalmente recubierta con una capa muy fina de oro o carbón, lo que le otorga propiedades conductoras. La técnica de preparación de las muestras se denomina “sputtering” o pulverización catódica.

Al alcanzar el haz la superficie de la muestra se generan principalmente las siguientes partículas.

Electrones retrodispersados (e1)

Electrones secundarios (e2)

Además de radiación electromagnética (rayos X) y otras partículas menos significativas.

El microscopio se encuentra internamente equipado con unos detectores que recogen la energía y la transforman en las siguientes imágenes y datos:

Detector de electrones secundarios: (SEI – Secondary Electron Image) con los que obtenemos las imágenes de alta resolución.

Detector de electrones retrodispersados: (BEI – Backscattered Electron Image) Con menor resolución de imagen, pero mayor contraste para obtener la topografía de la superficie.

Detector de energía dispersiva: (EDS – Energy Dispersive Spectrometer) detecta los rayos X generados y permite realizar un análisis espectrográfico de la composición de la muestra.

(+Rehabilitacion+construccion, 2018)

3.2. Estado del arte

Marín C. (2001) evaluó las propiedades de un mortero polimérico de albero para utilizarlo como material de revestimiento y fabricación de elementos constructivos. Estos realizaron valoraciones de la influencia real de la humedad del árido seco/húmedo en el mortero, la granulometría natural del árido, y pruebas de compresión a probetas prismáticas y cilíndricas y realizaron un desgaste por abrasión. Los resultados muestran que la resistencias a compresión para las probetas prismáticas son mayores que las obtenidas en las probetas cilíndrica ya que estas son más difícil de compactar ,su resistencia alcanzada fue 29 Mpa-33Mpa y esto se dio por la forma de llenado y compactación de la probetas , se observaron que con la probeta prismática dio una resistencia a compresión mejor de 52 Mpa- 70 Mpa , también se observó que existe una mejor resistencia con los áridos tanto húmedos como con áridos secos en las probetas prismáticas, en las propiedades mecánicas se pudo observar las características reales de un material utilizado para revestecimiento del suelo el cual colocaron probetas a la intemperie para ver su resistencia al desgaste y este mejora gracias a el poli Albero ya que se han obtenido en cualquier caso resultados mejores para utilizar el material para la construcción. Todos los ensayos realizados al mortero polimérico de albero y muestran que tiene propiedades adecuadas como uso de material de revestimiento en construcción. (Marin, 2001)

(Khan, 2007) utilizó botellas de residuos de tereftalato de polietileno (PET) posconsumo, para producir resina de poliéster insaturada por despolimerización mediante reacción de glicólisis con dietilenglicol. Estas resinas se utilizaron para producir mortero polimérico y se analizaron para determinar sus propiedades fisicoquímicas utilizando el análisis elemental de carbono, hidrógeno y nitrógeno (CHN), la espectroscopia infrarroja de transformada de Fourier (FTIR) y el análisis termogravimétrico-análisis térmico diferencial (TGA-DTA). En sus resultados se pudo observar

que el mortero polimérico producido tiene una resistencia a compresión de aproximadamente 10 MPa y se puede usar en aplicaciones como pavimentos, barreras medianas, tuberías de alcantarillado, entre otros. Su resistencia a la tracción a los 45 días de edad es del 18 al 23% de su resistencia a la compresión en la misma edad.

Shuklaa y col. (Shuklaa, 2008) aplicaron poliurea (PU) y compuesto de éster vinílico de vidrio E (EVE) a materiales compuestos como material de mitigación de impacto, determinando la resistencia efectiva a explosiones utilizando un tubo de choque y sándwich. La caracterización de los materiales se obtuvo mediante un examen visual macroscópico, un examen microscópico y mediciones en tiempo real. El estudio macroscópico y microscópico incluyó la identificación de los diferentes modos de daño y la extensión del daño en los paneles. Los resultados indican que la adición de la capa de poliurea en la cara de impacto aumenta considerablemente la resistencia a la explosión. Además, los materiales de sándwich preparados con poliurea entre dos capas de material compuesto tuvieron la mejor resistencia a la explosión en comparación con las placas en capas y las de material compuesto. Se observó experimentalmente que, de las diferentes construcciones posibles de materiales, los materiales de emparedado capa suave (PU) entre las pieles de material compuesto (EVE) tenían las mejores propiedades de resistencia a explosiones. Simultáneamente, la adición de peso para los materiales en capas y en sándwich es un 60% más que el compuesto liso solo. Pero la mejora del rendimiento en el material en capas es aproximadamente un 25% mejor (cuando la poliurea se enfrenta a la explosión) y en el caso de sándwich compuesto (EVE). Además, los materiales de emparedado preparados al ubicar la poliurea entre dos capas de material compuesto tuvieron la mejor resistencia a la explosión en comparación con las placas de capas y el material compuesto.

Ackland (2013), Evaluó placas de acero bajo carga localizada al desnudo con recubrimiento de poliurea y con base a esto realizaron experimentos exploratorios y modelos numérico en donde desollaron pruebas que proporcionaran datos de validación con el fin de desarrollar y validar los modelos numéricos de las placas recubiertas con poliurea y ver la resistencia. Se observó en los resultados que hubo un incremento de 8% y 18% para las placas de acero 5 mm con recubrimientos de poliurea de 7,7 mm y placas de acero de 4 mm con recubrimientos de poliurea de 15,7 mm. Los investigadores se dieron cuenta que los recubrimientos de poliurea pueden aplicarse como apliques a las placas de acero para reducir las deformaciones ya que este es muy resistente. El uso de la poliurea ha demostrado que ayuda a mejorar la protección contra las explosiones, en aplicaciones en pared de mampostería de hormigón, e impide que los fragmentos se rompan de la superficie posterior de la pared, manteniéndolos de forma efectiva durante el evento de explosión, sismo, entre otras.

(Vidales, 2014) Utilizaron botellas de PET de desecho para producir una resina de poliéster insaturada (UPER) mediante un proceso de glucólisis. Esta UPER se utilizó como agente aglutinante para producir polímeros de mortero. Se produjeron dos grupos de mortero: el primer grupo variando la relación arena / UPER y el segundo grupo variando la relación arena / UPER / PET partículas. Las mejores propiedades mecánicas y físicas fueron mostradas por morteros con una relación 80/20 arena / UPER y 78/20/2 arena / UPER / PET. Los resultados de este estudio demuestran la viabilidad de reutilizar los residuos de PET como partículas y UPER para producir morteros de polímeros.

(Cruz, 2016) Estudiaron los efectos de la incorporación de fibras de llantas recicladas y de la radiación gamma en las propiedades mecánicas de concreto polimérico elaborado con resina

poliéster insaturada y arena sílice. Se elaboraron cuatro tipos de concretos poliméricos: I) control (sin fibras), II) con fibras sin irradiar a diferentes concentraciones (0.3, 0.6, 0.9 y 1.2% en volumen), III) con fibras irradiadas a 50 y 100 kGy a diferentes concentraciones (0.3, 0.6, 0.9 y 1.2% en volumen), y IV) con fibras sin irradiar a diferentes concentraciones (0.3, 0.6, 0.9 y 1.2% en volumen) e irradiado directamente a 50 y 100 kGy. En el cual pudieron observar que las propiedades mecánicas del concreto polimérico dependen del tipo y cantidad de fibra añadida, así como de la dosis de radiación aplicada. Se obtuvieron las máximas resistencias a la compresión con 1.2% de fibra incorporada. Por otro lado, el concreto polimérico con fibra irradiada tuvo valores más altos de ductilidad que el concreto irradiado directamente.

(Dhanasekar, 2017) Fabricaron y caracterizaron morteros de polímeros cementosos - compuestos de espuma auxética adecuados para la pared. Las espumas auxéticas utilizadas en esta investigación se fabricaron a partir de una espuma de poliuretano de células abiertas de bajo costo. Los resultados muestran que, a través de materiales auxéticos, la incrustación, la deslaminación y la fragilidad sufridas por los compuestos cementosos podrían eliminarse.

(López, 2018) En este Estudio se evaluaron los polímeros de desecho (PET, policarbonato y neumáticos automotrices), en el cual reemplazaron parcialmente la arena de sílice en el mortero a base de poliéster. Se utilizaron partículas de desecho (0.7–2.36 mm), en concentraciones de 1, 2 y 3% en peso. Las muestras de mortero de polímero se sometieron a pruebas de compresión y flexión, y se calculó el módulo de elasticidad. Los resultados muestran una mejora en la resistencia mecánica (hasta 20%) para mortero de polímero con PET de desecho. En los resultados mecánicos se observa que pueden relacionarse con el grado de cristalinidad, ya que las

partículas de PET mostraron una mayor cristalinidad que las de las partículas de policarbonato y neumático.

4. Parte Experimental

4.1. Ensayo Granulométrico

El ensayo granulométrico se realizó en el laboratorio INGEBOSC en Bosconia, Cesar bajo la Norma INVIAS-123-12. Los resultados de la distribución de tamaños de partícula de la masa de agregado, se expresan mediante un tipo de gráfica denominado curva granulométrica.

El ensayo se realizó partiendo de una masa de 4800 g, la cual se encuentra dentro del rango de muestra de ensayo establecido por la norma INVIAS 123-12. La Tabla 7, muestra los pesos aproximados de referencia de acuerdo al diámetro nominal de las partículas mayores.

Tabla.7.

Peso aproximado de referencia. Fuente (Invias, Invias -123, 2012)

Diámetro nominal de las partículas mayores	Masa mínima aproximada de la porción
9,5 mm (3/8")	500
19,0 mm (3/4")	1000
25,4 mm (1")	2000
38,1 mm (1-1/2")	3000
50,8 mm (2")	4000
76,2 mm (3")	5000

Nota: Fuente: Elaboración de: (Invias, Invias -123, 2012)

La Tabla 8, muestra los resultados obtenidos del ensayo granulométrico.

A partir de los datos mostrados en la Tabla 8, se graficó la curva granulométrica, como se observa en la Figura 2.

Con los cálculos realizados correctamente del laboratorio INGEBOSC se determinó la granulometría del suelo con una humedad natural de 5,4% el cual no tiene límite plástico, ni líquido. El material es SW-SC (Arena arcillosa bien gradada) que es la que se utilizó para el diseño de mortero y su módulo de finura es de 2,1 como se puede observar en la Tabla 9.

Tabla 8.

Resultados obtenidos en el ensayo granulométrico.

Tamices	Abertura (mm)	Masa Retenida (g)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% PASA
No.					
1"	25,000				
3/4"	19,000				
1/2"	12,500				
3/8"	9,500	0,0	0,0	0,0	100,0
4	4,750	1,9	0,0	0,0	100,0
8	2,360	13,8	0,3	0,3	99,7
16	1,180	121,5	2,5	2,9	97,1
30	0,600	1.205,8	25,1	28,0	72,0
50	0,300	2.475,8	51,6	79,5	20,5
100	0,150	839,2	17,5	97,0	3,0
200	0,075	31,1	0,65	97,67	2,33
P 200	0,000	111,7	2,33	100,00	0,00
Peso Inicial (g):		4800,8	Peso Final (g):		4.689,1

Nota: Fuente: Elaboración de (Invias, Invias -123, 2012)

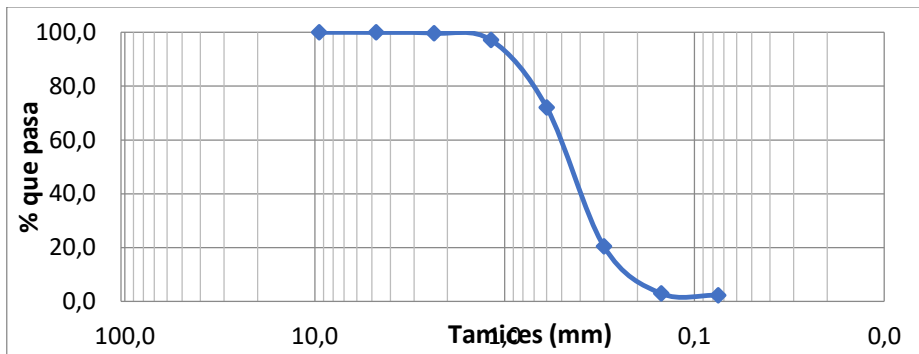


Figura 2: Esquema de curva Granulométrica, fuente: Propia con base a (Invias, Invias -123, 2012)

Tabla 9.

Módulo de finura obtenida de la granulometría.

Procedencia	Rio Ariguaní
Módulo De Finura	2,1

Nota: Fuente: (Elaboración Propia Villadiego Natali, Vásquez Loraine)

4.2. Diseño de mortero

El diseño del mortero se realizó de acuerdo al procedimiento elaborado por (Lopez, 2003)

Se partió del concepto que tiene en cuenta el tipo de estructura donde se va a utilizar la mezcla. La Tabla 10, muestra la fluidez recomendada del mortero para diversos tipos de estructura y condiciones de colocación. En ese sentido, la estructura donde se va a utilizar la mezcla es pega de mampostería, pañetes, etc. Con lo cual de acuerdo a la Tabla 10, la muestra debe tener una consistencia media (plástica), con una fluidez entre 100-120%.

- **Contenido de Cemento**

La Figura 3 muestra la relación entre el contenido de cemento y la resistencia a la compresión a 28 días. Partiendo de la premisa de obtener una resistencia ideal de 211 Kg/cm^3 (3000 psi) y con un mortero plástico con una fluidez entre 100% y 120% y un módulo de finura de arena de 2,1, se obtiene que la cantidad de cemento es 540 Kg por m^3 de mortero.

- **Contenido de agua**

La Figura 4 muestra la relación entre la resistencia a compresión a los 28 días y la relación agua/cemento. Se puede observar que partiendo de una resistencia ideal de 211 Kg/cm^3 (3000 psi) la relación Agua-Cemento debe ser $A/C=0,52$.

Tabla 10.

Fluidez recomendada del mortero para diversos tipos de estructura y condiciones de colocación.

Consistencia	Fluidez %	Condición de colocación	Ejemplo de tipos de estructura	Ejemplo de sistema de colocación
Dura (Seca)	80-100	Selecciones sujetas a vibración	Reparaciones recubrimiento de túneles, galerías pantallas de cimentaciones, pisos.	Manual
Media (Plástica)	100-120	sin vibraciones	Pega de mampostería baldosines, pañetes y revestimiento.	Manual con palas palustres
Fluida (Húmeda)	120-150	sin vibración	Pañetes, rellenos de mampostería baldosines, estructura, mortero, autonivelantes para pisos.	Manual, bombeo inyección.

Nota. Fuente: Elaboración de (Florez, 2003) pág. 120.

A partir de ese dato, podemos calcular la cantidad de agua tal como se muestra a continuación:

*Agua = relacion agua cemento * cemento*

$$Agua = 0,52 * 540 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Agua = 280,8 litros por m^3 de mortero.

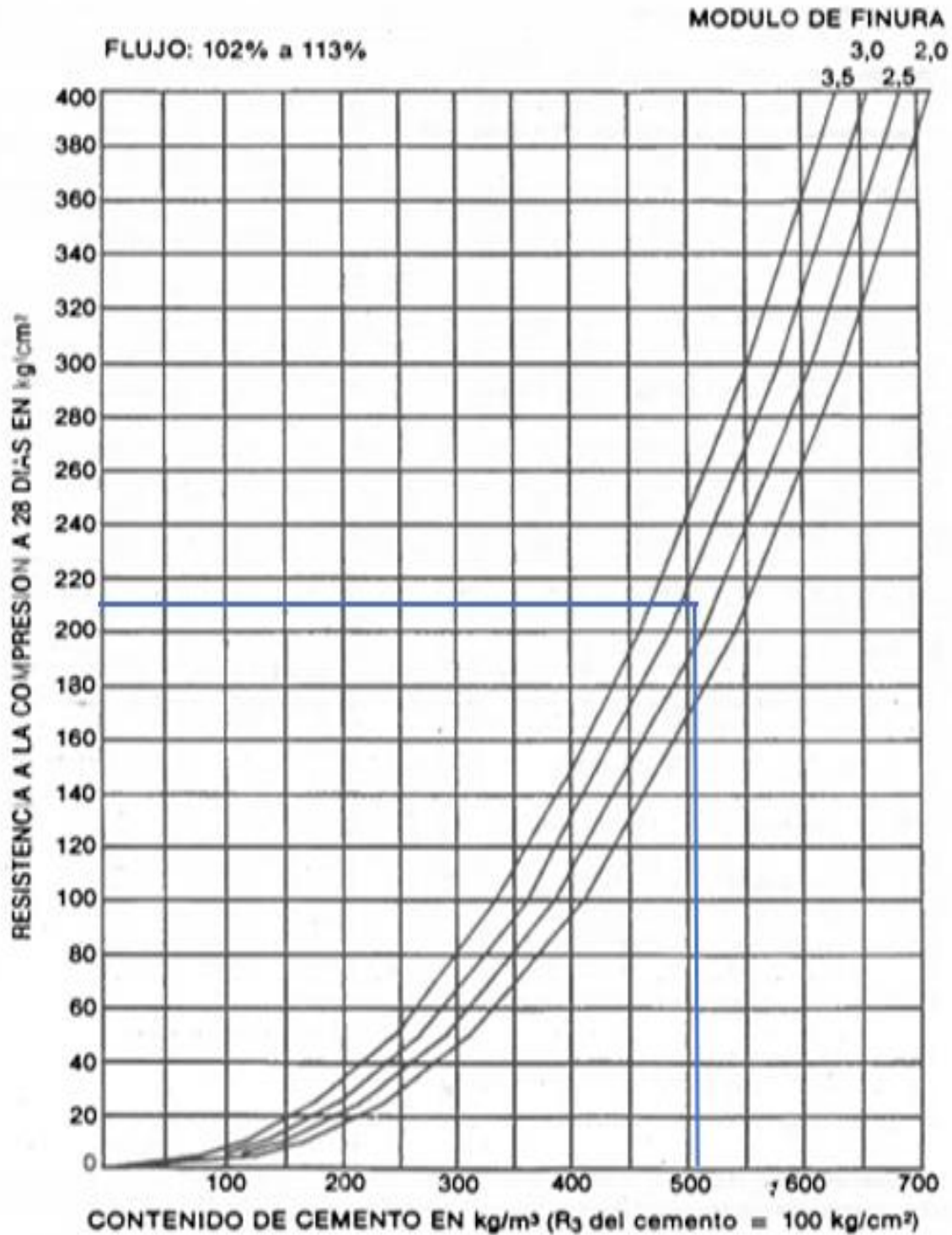


Figura 3. Determinación del contenido de cemento del diseño de mortero Nota: Fuente:

Elaboración de (Florez, 2003) pág. 124.

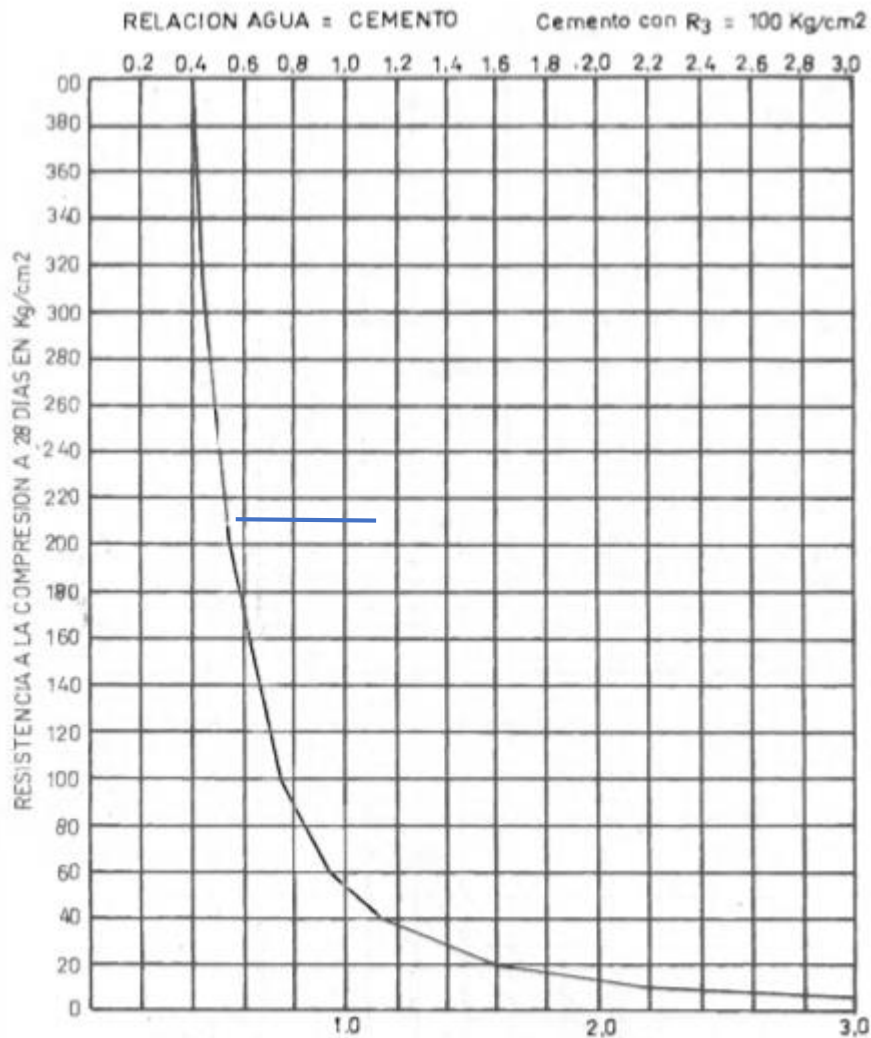


Figura 4. Relación agua-cemento Nota: Fuente: Elaboración de (Florez, 2003) pág. 126.

- **Contenido de arena**

Para establecer el contenido de arena, inicialmente se realizaron los ensayos de peso unitario suelto de la arena y peso unitario seco. La Tabla 11 muestra los resultados de laboratorio de peso unitario suelto de la arena. Se muestra que el peso específico de la arena saturada y superficialmente seca es $2,45 \text{ g/cm}^3$.

Tabla 11.

Peso unitario suelto de la arena.

Prueba No.	UNIDAD	1	2	3	PROMEDIO	
Temperatura	° C	23	23	23		
Peso Al Aire De La Muestra Seca (A)	G	490,8	490,0	490,3		
Peso Del Picnómetro Aforado Lleno De Agua (B)	G	657,0	657,0	657,1		
Peso Total Del Picnómetro Aforado Con La Muestra Y Lleno De Agua (C)	G	957,7	957,5	957,1		
Peso De La Muestra Saturada (S)	G	500,0	500,0	500,0		
Peso Específico Aparente	A	g / cm ³	2,463	2,456	2,452	2,457
	B + S – C					

Nota: (Fuente: Elaboración Propia Villadiego Natali, Vásquez Loraine)

La Tabla 12, muestra los resultados de pruebas de laboratorio de peso unitario seco encontrándose un peso unitario suelto de la arena de 1,309 g/cm³

Partiendo de una cantidad de cemento de 540 Kg por m³ de mortero, se calculó el volumen de cemento (Vc). La Tabla 13 muestra la densidad del cemento a utilizar en el estudio.

Tabla 12.

Resultados de pruebas de laboratorio peso unitario seco.

Humedad Natural (%)	5,40
Peso Unitario Compacto Húmedo (Kg/m ³)	1380,5
Peso Unitario Compacto Seco (Kg/m ³)	1309,8

Nota: (Fuente: Elaboración Propia Villadiego Natali, Vásquez Loraine)

Tabla 13.

Densidad del cemento.

Cemento	Ultracem Uso General	
Densidad	3080	Kg/m ³

Nota: (Fuente: Elaboración Propia Villadiego Natali, Vásquez Loraine)

A partir de los datos descritos y utilizando la formula (1), se calculó el volumen del cemento V_c , obteniéndose un V_c de $0,1753 \text{ m}^3$ por m^3 de mortero

$$V_c = \frac{\text{cemento}}{\text{Densidad del cemento}} \quad (1)$$

$$V_c = \frac{540 \text{ Kg}}{3080 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}}$$

$$V_c = 0,1753 \text{ m}^3 \text{ por } \text{m}^3 \text{ de mortero}$$

Para un volumen de agua de 280,8 litros ($0,2808 \text{ m}^3$) y un volumen de aire incluido de 0,035, se calculó el volumen de arena (V_{ar}) de acuerdo a la ecuación 2.

Tenemos que V_{ar} es:

$$V_{ar} = 1 - \text{Volumen de cemento}(V_c) - \text{Volumen de agua}(V_{agua}) - \text{Volumen de aire}(V_{aire}) \quad (2)$$

$$V_{ar} = 1 - V_c - V_{agua} - V_{aire}$$

$$V_{ar} = 1 - (0,1753 \text{ m}^3 + 0,2808 \text{ m}^3 + 0,035)$$

$$V_{ar} = 0,5089 \text{ m}^3 \text{ por } \text{m}^3 \text{ de mortero.}$$

$$\text{Masa de arena} = \text{Volumen de arena} * \text{Densidad de la arena} \quad (3)$$

Partiendo de la ecuación 3 y los resultados de V_{ar} , obtenemos la masa de arena:

$$\text{Masa de arena} = 0.5089 \text{ m}^3 * 246 \text{ Kg}$$

$$\text{Masa de arena} = 125,1894 \text{ Kg}$$

Para una masa unitaria suelta de arena de 1.309 g/cm^3 (ver Tabla 12 y utilizando la ecuación 4, se tiene:

$$\text{Contenido de arena} = \frac{\text{masa de arena}}{\text{masa unitaria de arena}} \quad (4)$$

$$\text{Contenido de arena} = \frac{125,1894 \text{ Kg}}{1,309}$$

$$\text{Contenido de arena} = 0,95451012 \text{ m}^3 \text{ por m}^3.$$

4.3. Diseño de morteros con adición de poliurea

4.3.1. Poliurea

Se utilizó la poliurea, marca EUCO QWIKJOINT 200 por su menor costo y disponibilidad.

- La ficha técnica de dicha poliurea se encuentra en el anexo 1. La poliurea se esparció en una baldosa (Figura 5) utilizando para ello una pistola Sika de dos tubos (ver Figura 6). A las 24 horas con la ayuda de una espátula se retiró dicha poliurea y mediante un rallador de acero inoxidable se procedió a rallar el material.



Figura 5. Esquema de Poliurea esparcida en baldosa cerámica. (Fuente: Elaboración Propia Villadiego Natali, Vásquez Loraine)



Figura 6. Esquema Poliurea de dos componentes. Fuente: Elaboración Propia Villadiego Natali, Vásquez Loraine)

Una vez rallada la poliurea, se clasifico en distintos tamaños: $\frac{3}{4}$, 4, 8, 16, 30, 50, 100 y 200. La Figura 7, muestra una imagen de los tamaños obtenidos.



Figura 7. Clasificación de tamaño de poliurea. Fuente: Elaboración Propia Villadiego Natali, Vásquez Loraine)

4.3.2. Determinación de las cantidades de cada material para la elaboración del mortero polimérico

- **Cantidad de cemento para cada mortero**

El porcentaje de adición de cemento por cada cubo de mortero se calculó de la siguiente manera:

La norma I.N.V. E – 323 en el ítem 6.2 nos indica la cantidad de cemento por números de cubos (ver Tabla 14).

Tabla 14.

Cantidad de cemento para 6 y 9 cubos.

Materiales	6 cubos	9 cubos
Cemento en (g)	500	740
Arena (g)	1375	2035
Agua en (ml)		
portland (0,485)	242	359
Agua en (ml)		
portland con incorporadores de aire (0,46)	230	340

Nota: Fuente: Elaboración de (I.N.V.E, 2007)

A partir de la Tabla 14 se establece que se requieren 250 g de cemento para 3 cubos.

- **Cantidad de agua para cada mortero**

Partiendo de la cantidad de cemento requerida y la relación A/C conocida, se estableció la cantidad de agua; por tanto, tenemos que:

$$\text{Cantidad de agua (g)} = 250 \text{ g de cemento} * A/C \quad (5)$$

Remplazando los valores en la fórmula (5) tenemos:

$$\text{Cantidad de agua (g)} = 250 \text{ g de Cemento} * 0.52 = \frac{130}{3 \text{ morteros}} = 43,33 \text{ g de agua}$$

- **Cantidad de arena para cada mortero**

La cantidad de arena se calculó utilizando la formula (6);

$$\text{Cantidad de arena (g)} = 250 \text{ g de Cemento} * \frac{\text{Peso de la arena}}{\text{peso del cemento}} \quad (6)$$

Remplazando los datos conocidos tenemos:

$$\text{Cantidad de arena (g)} = 250 \text{ g de Cemento} * \frac{1250.2}{540} = 578,80 = \frac{578.80}{3 \text{ morteros}} = 192,94 \text{ g de arena}$$

4.3.3 Cantidad de poliurea para cada mortero.

Se establecieron cuatro porcentajes teóricos de adición de poliurea (2, 4, 5 y 11) con distintos tamaños de partícula (tamiz No. 30, 50 y 100).

A partir de la ecuación (7) se calculó la cantidad de poliurea que se adicionó a cada mortero.

$$\% \text{ de adición} = \frac{(250 \text{ g de cemento}) * (\% \text{ de poliurea})}{\text{cantidad de morteros}} \quad (7)$$

$$2\% \text{ de adición} = \frac{(250 \text{ g de cemento}) * (1,9\%)}{3} = 1,58 \text{ g de poliurea para cada mortero}$$

$$4\% \text{ de adición} = \frac{(250 \text{ g de cemento}) * (3,8\%)}{3} = 3,16 \text{ g de poliurea para cada mortero}$$

$$5\% \text{ de adición} = \frac{(250 \text{ g de cemento}) * (5\%)}{3} = 4,16 \text{ g de poliurea para cada mortero}$$

$$11\% \text{ de adición} = \frac{(250 \text{ g de cemento}) * (11,4\%)}{3} = 9,5 \text{ g de poliurea para cada mortero}$$

4.3.4. Preparación de los morteros poliméricos

Se mezcló la cantidad de agua, cemento, arena y aditivo necesario para la muestra en una tara (ver Tabla 15 y Figura 8). A los moldes se les aplicaron en sus caras interiores una capa delgada de aceite mineral ligero. De acuerdo con la norma I.N.V. E – 323 – 07, el ensayo a compresión de morteros de cemento hidráulico, usa cubos de 50 mm o 2” de lado.

De acuerdo con la norma INVIAS – 321. Se vertió en el molde una capa del mortero que se pretende ensayar, de unos 25 mm (1”) de espesor, y se comprimió con 25 golpes del compactador uniformemente distribuidos. Con una segunda capa de mortero, se llenó completamente el molde y se comprimió como en la anterior. Se retiró el exceso de mortero de la

capa superior y se lustró la superficie con la ayuda de un palustre. Cuando el molde se encontró lleno, se limpió y se secó la plataforma de la mesa, teniendo cuidado de secar el agua que está alrededor de la base del molde. La Figura 9, muestra la fundida de los morteros, posteriormente los cubos fueron curados un día en los moldes y se desmoldaron el día siguiente. Se sumergieron en agua-cal hasta su ensayo a compresión.

Tabla 15.

Cantidades utilizadas de cada material.

Cantidad de morteros	Porcentaje de adición	Tamaño de partícula	Cantidad de cemento (g)	Cantidad de arena (g)	Cantidad de agua (g)	Cantidad de aditivo (g)
7	2%	Tamiz No. 30	583,33	1350,52	303,33	11,08
6	4%	Tamiz No. 30	500	1157,59	260	19
7	5,0%	Tamiz No. 30	583,33	1350,52	303,33	29,17
9	2%	Tamiz No. 50	750	1736,39	390	14,25
9	4%	Tamiz No. 50	750	1736,39	390	28,5
9	5,0%	Tamiz No. 50	750	1736,39	390	37,5
9	11 %	Tamiz No. 50	750	1736,39	390	85,5
9	2%	Tamiz No. 100	750	1736,39	390	14,25
9	4%	Tamiz No. 100	750	1736,39	390	28,5
9	5,0%	Tamiz No. 100	750	1736,39	390	37,5

Nota: Fuente: Elaboración Propia Villadiego Natali, Vásquez Loraine



Figura 8. Esquema de mezcla de los materiales en tara. Nota. Fuente: Elaboración Propia Villadiego Natali, Vásquez Loraine)

Se prepararon morteros para tres edades de curados (7, 14 y 28 días) y por triplicado. Al cumplirse la edad de curado requerida se retiró el mortero del agua-cal. Se dejó secar cada mortero a distintas horas; para los morteros con 7 días de curado se dejó secar ± 3 horas, para los de 14 días se dejó secar ± 6 horas, para los de 28 días se dejó secar ± 12 horas. Posteriormente se pesó cada mortero en la balanza. Se midió la longitud, ancho y altura de cada mortero con la ayuda de una regla. (Invias, 321, 2007)



Figura 9. Fundida de morteros. Nota: Fuente: Elaboración Propia Villadiego Natali, Vásquez Loraine)

4.3.5. Determinación de la resistencia a la compresión.

Se realizaron ensayos de compresión utilizando la máquina de ensayos modelo 30000100 con número de serie 3010120612. En el Anexo 2 se muestra el certificado de calibración.

Se instaló cuidadosamente el espécimen en la máquina de ensayo tal como se muestra en la Figura 10. Se colocaron las probetas adecuadamente y se corroboró, que la rótula girará libremente en cualquier dirección. Se utilizó una proporción de carga a una proporción relativa de movimiento entre el plato superior y el inferior que correspondiera a una carga aplicada al cubo en el rango de 900 N/segundo a 1800 N/segundo y posteriormente se procedió a escribir la

carga máxima indicada por la máquina de ensayo en el momento de la rotura de acuerdo a la Norma establecida. (Invias, 321, 2007)



Figura 10. Compresión de morteros Nota: Fuente: Elaboración Propia Villadiego Natali, Vásquez Loraine)

4.3.6 Microscopio Electrónico de barrido (SEM)

Se tomaron muestras de 1x1 cm de los morteros una vez fallados para análisis mediante SEM. Se verificó que las muestras estuvieran secas. El proceso de secado ha de llevarse a cabo preservando al máximo la estructura original de la muestra.

Posteriormente la muestra se recubrió con una capa de un material conductor para permitir su observación en el microscopio.

5. Resultados y discusión

5.1 Evaluación de la influencia de los porcentajes de adición de poliurea en la resistencia de los morteros.

En este apartado presentamos los resultados de la resistencia obtenidos para los morteros con diferentes adiciones de poliurea (2, 4, 5 y 11%) y con distintos tamaños de partícula de poliurea provenientes de los tamices No. 30, 50 y 100.

Para un mejor entendimiento de los términos, la Tabla 16 muestra las abreviaturas utilizadas para identificar los morteros fabricados con distintos tamaños de partícula y distintos porcentajes de adición de poliurea.

Tabla 16.

Abreviaturas para identificar los distintos morteros fabricados.

Morteros con distintos tamaños de partícula de poliurea Tamiz (M)	% de adición de poliurea	Abreviatura
30	2	M30-2
30	4	M30-4
30	5	M30-5
50	2	M50-2
50	4	M50-4
50	5	M50-5
50	11	M50-11
100	2	M100-2
100	4	M100-4
100	5	M100-5

Nota: Fuente: Elaboración Propia Villadiego Natali, Vásquez Loraine)

Se preparó un mortero control (M-C) cuyas resistencias se muestran en la Tabla 17.

Tabla 17.

Resistencias obtenidas para una muestra control (M-C) en los distintos días de curado.

Muestra	Edad (Días)	Carga Máxima (Kn)	Esfuerzo (Psi)	Esfuerzo (Mpa)	Resistencia Especificación P.S.I.	% Resistencia	Promedio % Resistencia
M-C	7	36,0	2089	14,40	3000	70	
M-C	7	36,6	2123	14,64	3000	71	70
M-C	7	35,5	2060	14,20	3000	69	
M-C	14	44,5	2582	17,80	3000	86	
M-C	14	44,8	2599	17,92	3000	87	86
M-C	14	44,3	2570	17,72	3000	86	
M-C	28	54,6	3168	21,84	3000	106	
M-C	28	56,0	3249	22,40	3000	108	107
M-C	28	55,5	3220	22,20	3000	107	

Nota: Fuente: Elaboración Propia Villadiego Natali, Vásquez Loraine

5.1.1. Resistencia del mortero con tamaño de partícula tamiz No. 30 y distintas adiciones de poliurea.

La Tabla 18 muestra las resistencias obtenidas para los morteros fabricados con tamaño de partícula tamiz No. 30 y con distintos porcentajes de adición de poliurea. Se observa que las resistencias a compresión aumentan con las adiciones de poliurea de 2 y 5% a los 28 días de curado llegando a sobrepasar los valores de un M-C.

Tabla 18.

Resistencia a compresión de morteros con tamaño de partícula tamiz No. 30 y distintos porcentajes de adición de poliurea.

Muestra	Edad (días)	Carga máxima (kN)	Esfuerzo (psi)	Esfuerzo (MPa)	Resistencia Especificación (psi)	% Resistencia	Promedio % Resistencia
M30-2	7	37,5	2176	15	3000	73	
	7	37,6	2181	15,04	3000	73	73
	14	45,3	2628	18,12	3000	88	
	14	47,1	2733	18,84	3000	91	89,5
	28	54,6	3168	21,84	3000	106	
	28	54,4	3156	21,76	3000	105	
	28	55	3191	22	3000	106	105,7
M30-4	7	32,6	1891	13,04	3000	63	
	7	30,8	1787	12,32	3000	60	61,5
	14	41,2	2390	16,48	3000	80	
	14	42,7	2477	17,08	3000	83	81,5
	28	48,3	2802	19,32	3000	93	
	28	46,9	2721	18,76	3000	91	92
M30-5	7	28,8	1671	11,52	3000	56	
	7	29,8	1729	11,92	3000	58	57
	14	35,8	2077	14,32	3000	69	
	14	34,5	2002	13,8	3000	67	68
	28	55,1	3197	22,04	3000	107	
	28	54,7	3173	21,88	3000	106	
	28	55,8	3237	22,32	3000	108	107

Nota: Fuente: Elaboración Propia Villadiego Natali, Vásquez Loraine

La Figura 11, muestra una gráfica de las resistencias obtenidas para los morteros con poliurea de tamaño de partícula tamiz 30 y con distintos porcentajes de adición. Así mismo, se observa el comportamiento del mortero control (M-C) y de un mortero ideal (M-D).

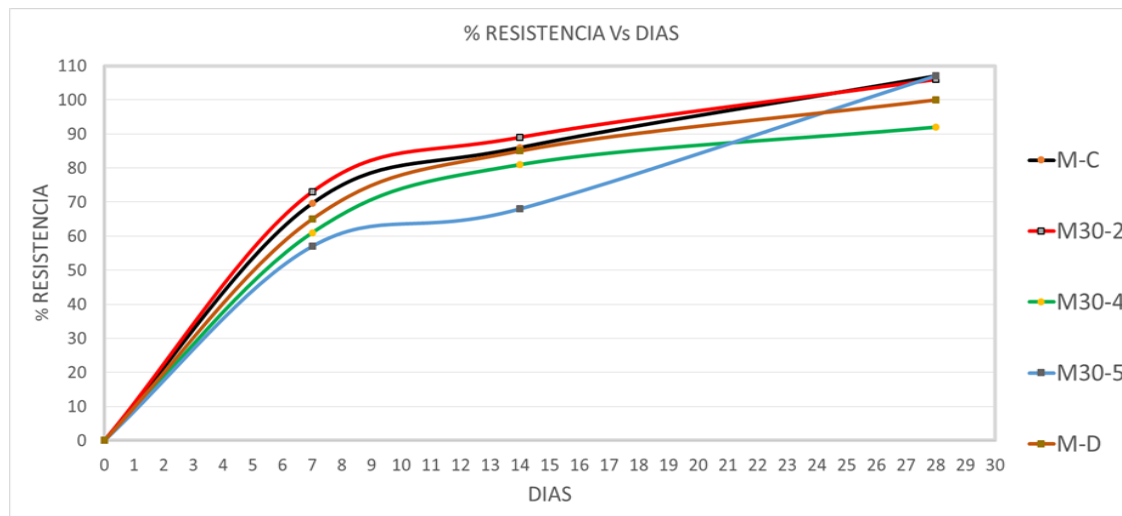


Figura 11. Gráfica del % de resistencia Vs. días de curado de morteros con tamaño de partícula retenido en el tamiz número 30 con diferentes porcentajes de aditivo Nota: Fuente: propia.

De acuerdo con el gráfico, se observa que el mortero M30-2 tiene un comportamiento por encima de la media durante los primeros 14 días, mientras que el mortero M30-5 pese a tener un bajo rendimiento en los 14 días del curado termina igualando la muestra control a los 28 días y el mortero M30-4 no supera la muestra control mostrando una resistencia inferior.

5.1.2. Resistencia del mortero con tamaño de partícula retenido en el tamiz No. 50 y distintas adiciones de poliurea

La Tabla 19, muestra las resistencias obtenidas de los morteros fabricados con poliurea de tamaño de partícula retenido en el tamiz No. 50 y con distintos porcentajes de adición de esta.

Tabla 19.

Resistencias obtenidas para los morteros fabricados con distintos porcentajes de adición de poliurea y tamaño de partícula retenido en el tamiz No. 50.

Muestra	Edad (días)	Carga maxima (kN)	Esfuerzo (psi)	Esfuerzo (MPa)	Resistencia (psi)	% Resistencia	Promedio % Resistencia
M50-2	7	24,4	1416	9,76	3000	47	46,7
	7	23,6	1369	9,44	3000	46	
	7	24,1	1398	9,64	3000	47	
	14	49,8	2889	19,92	3000	96	95,3
	14	49,2	2854	19,68	3000	95	
	14	49,3	2860	19,72	3000	95	
	28	37,9	2199	15,16	3000	73	73,3
	28	38,4	2228	15,36	3000	74	
	28	37,7	2187	15,08	3000	73	
M50-4	7	38,1	2210	15,24	3000	74	73,3
	7	37,8	2193	15,12	3000	73	
	7	38	2205	15,2	3000	73	
	14	44,3	2570	17,72	3000	86	86
	14	44,9	2605	17,96	3000	87	
	14	44	2553	17,6	3000	85	
	28	29,6	1717	11,84	3000	57	57,3
	28	30,4	1764	12,16	3000	59	
	28	29,1	1688	11,64	3000	56	
M50-5	7	28,9	1677	11,56	3000	56	56
	7	29,1	1688	11,64	3000	56	
	7	28,8	1671	11,52	3000	56	
	14	38,1	2210	15,24	3000	74	74,3
	14	38,6	2239	15,44	3000	75	
	14	38,4	2228	15,36	3000	74	
	28	33,5	1944	13,4	3000	65	64,3
	28	33,8	1961	13,52	3000	65	
	28	32,7	1897	13,08	3000	63	

Nota: Fuente: Elaboración Propia Villadiego Natali, Vásquez Loraine

La Figura 12, muestra una representación gráfica de las resistencias mostradas en la Tabla 19.

Se observa que el mortero control es superado solo por el mortero M50-4 a los primeros 7 días

de curado, a los 14 días el mortero M50-2 supera las resistencias en compracion a los demás morteros, sin embargo a los 28 días se observa una disminucion en la resistencia para todos los morteros fabricados independientemente de las disitntas adiciones de poliurea quedando por debajo de la muestra control.

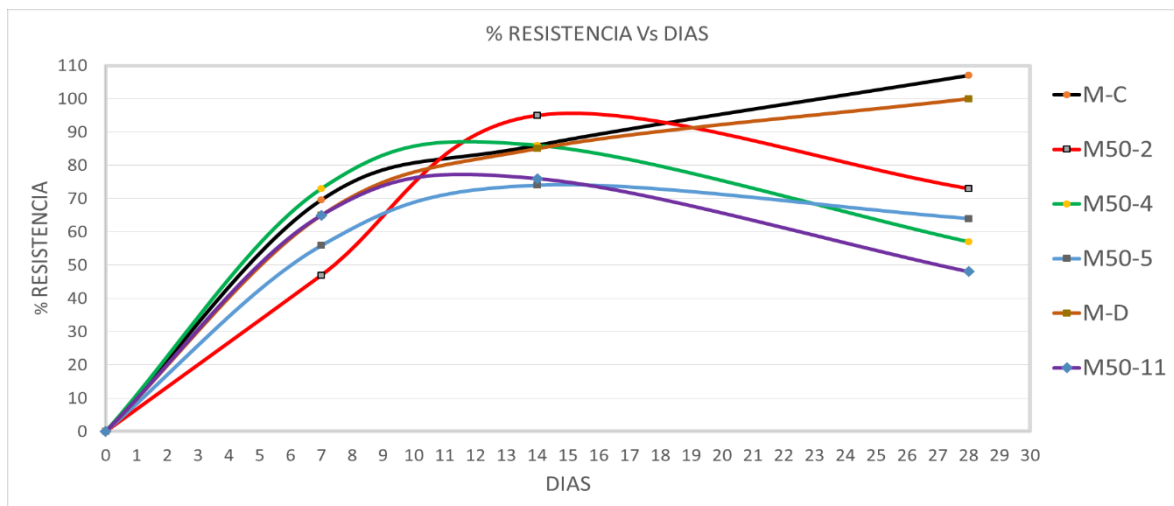


Figura 12. Grafica del % de resistencia Vs. días de curado de morteros con tamaño de partícula retenido en el tamiz número 50 con diferentes porcentajes de aditivo. Nota: Fuente: Elaboración Propia Villadiego Natali, Vásquez Loraine)

Para verificar el efecto de la cantidad de poliurea se fabricó un mortero con 11% de adición de este y con tamaño de partícula retenido en el tamiz 50 (M50-11) (ver Tabla 20). Los resultados se muestran en la Figura 12. Se observa que las resistencias son inferiores comparadas con los demás morteros fabricados. Lo cual nos indica que entre mayor sea la cantidad de poliurea en el mortero la resistencia a compresión disminuye.

Tabla 20.

Resistencias obtenidas para los morteros preparados con 11% de adición de poliurea de tamaño de partícula retenido en el tamiz No. 50.

	Edad (días)	Carga máxima (kN)	Esfuerzo (psi)	Esfuerzo (MPa)	Resistencia de Especificación (psi)	% Resistencia	Promedio % de Resistencia
M50-11	7	33,4	1938	13,36	3000	65	65
	7	34,2	1984	13,68	3000	66	
	7	33	1915	13,2	3000	64	
	14	39,3	2280	15,72	3000	76	75.6
	14	38,7	2245	15,48	3000	75	
	14	39,2	2274	15,68	3000	76	
	28	24	1392	9,6	3000	46	47.6
	28	24,9	1445	9,96	3000	48	
	28	25,1	1456	10,04	3000	49	

Nota: Fuente: Elaboración Propia Villadiego Natali, Vásquez Loraine

5.1.3. Resistencia del mortero con tamaño de partícula retenido en el tamiz No. 100 y distintas adiciones de poliurea

La Tabla 21 muestra las resistencias obtenidas por los morteros fabricados con poliurea de tamaño de partícula tamiz No. 100 y distintos porcentajes de adición. La Figura 13, muestra el comportamiento de las resistencias a compresión de los morteros preparados con tamaño de partícula retenido en el tamiz No. 100. Se observa que los morteros durante los primeros 7 días de curado presentan una resistencia inferior al mortero M-C. A los 14 días de curado el mortero M100-4 presenta una resistencia levemente superior al M-C mientras M100-2 y M100-5 presentan resistencias muy por debajo del MC. Por último, se observa que a los 28 días de curado los morteros M100-2 y M100-5 presentan resistencias más altas comparadas con MC; siendo ese incremento hasta de un 21% pese a que su proceso de curado en los primeros 14 días estaba por debajo de la media.

Tabla 21.

Resistencias obtenidas para los morteros fabricados con distintos porcentajes de adición de poliurea y tamaño de partícula retenido en el tamiz No. 100.

Localización	Edad (Días)	Carga máxima (kN)	Esfuerzo (PSI)	Esfuerzo (MPa)	Resistencia específica (psi)	% Resistencia	Promedio de resistencia
M100-2	7	28,8	1671	11,52	3000	56	57
	7	28,7	1665	11,48	3000	56	
	7	30,4	1764	12,16	3000	59	
	14	36,7	2129	14,68	3000	71	72,3
	14	37,3	2164	14,92	3000	72	
	14	38,3	2222	15,32	3000	74	
	28	62,2	3609	24,88	3000	120	120,3
	28	62	3597	24,8	3000	120	
	28	62,4	3620	24,96	3000	121	
M100-4	7	32,9	1909	13,16	3000	64	65,7
	7	34,5	2002	13,8	3000	67	
	7	34	1973	13,6	3000	66	
	14	48	2785	19,2	3000	93	92
	14	47,4	2750	18,96	3000	92	
	14	47	2727	18,8	3000	91	
	28	52,2	3028	20,88	3000	101	101,7
	28	53,7	3115	21,48	3000	104	
	28	51,9	3011	20,76	3000	100	
M100-5	7	24,1	1398	9,64	3000	47	47
	7	23,6	1369	9,44	3000	46	
	7	24,7	1433	9,88	3000	48	
	14	38,2	2216	15,28	3000	74	74,7
	14	39,1	2268	15,64	3000	76	
	14	38,4	2228	15,36	3000	74	
	28	60,7	3522	24,28	3000	117	117,3
	28	61,2	3551	24,48	3000	118	
	28	60,3	3498	24,12	3000	117	

Nota: Fuente: Elaboración Propia Villadiego Natali, Vásquez Loraine)

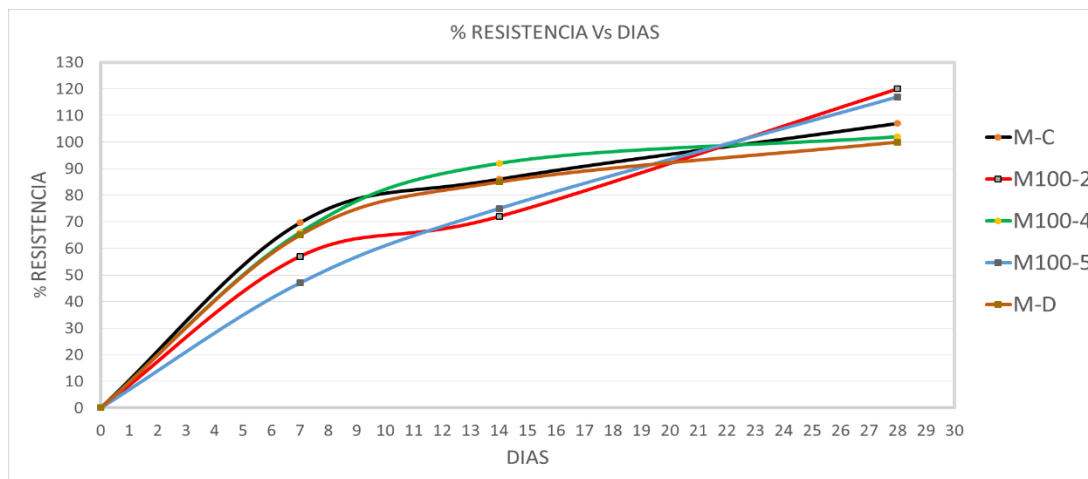


Figura 13. Grafica del % de resistencia Vs. días de curado de morteros con tamaño de partícula retenido en el tamiz número 100 con diferentes porcentajes de aditivo. Nota: Fuente: Elaboración Propia Villadiego Natali, Vásquez Loraine)

5.2. Evaluación de la influencia del tamaño de la partícula en la resistencia de los morteros

En este apartado se analiza el comportamiento de las resistencias de los morteros con un porcentaje de adición de poliurea y diferentes tamaños de partícula en las tres edades de curado. La Figura 14, muestra una gráfica del % de resistencia de los morteros con 2% de adición de poliurea y distintos tamaños de partícula. Se observa que el mortero con aditivo retenido en el tamiz No. 30 (T-30) presenta un comportamiento similar a la muestra control, lo que indica que probablemente la adición de poliurea con ese tamaño de partícula no genera una mejora en la resistencia. El mortero fabricado con tamaño de partícula de poliurea retenido en tamiz No. 50 (T-50) presenta un comportamiento variable, con unas resistencias muy inferiores a la muestra control a los 7 días de curado mientras que a los 14 días se observa un aumento notable; sin embargo, dicho aumento desciende notablemente a los 28 días de curado en comparación a los demás morteros, siendo este el mortero con más bajas resistencias. Por último, el mortero

preparado con tamaño de partícula retenido en tamiz No. 100 (T-100) muestra resistencias muy superiores a los 28 días de curado con respecto a la muestra de control, siendo dicho incremento hasta de un 21%. Se destaca que a los 7 y 14 días de curado las resistencias de este mortero son muy inferiores a los morteros preparados con tamaño de partícula de poliurea retenido en el tamiz No 30, 50 y M-C, indicándonos que probablemente sea el agua retenida en los poros del mortero lo que interfiera en que se produzcan los distintos enlaces con la poliurea y se produzcan estructuras que aumenten su resistencia.

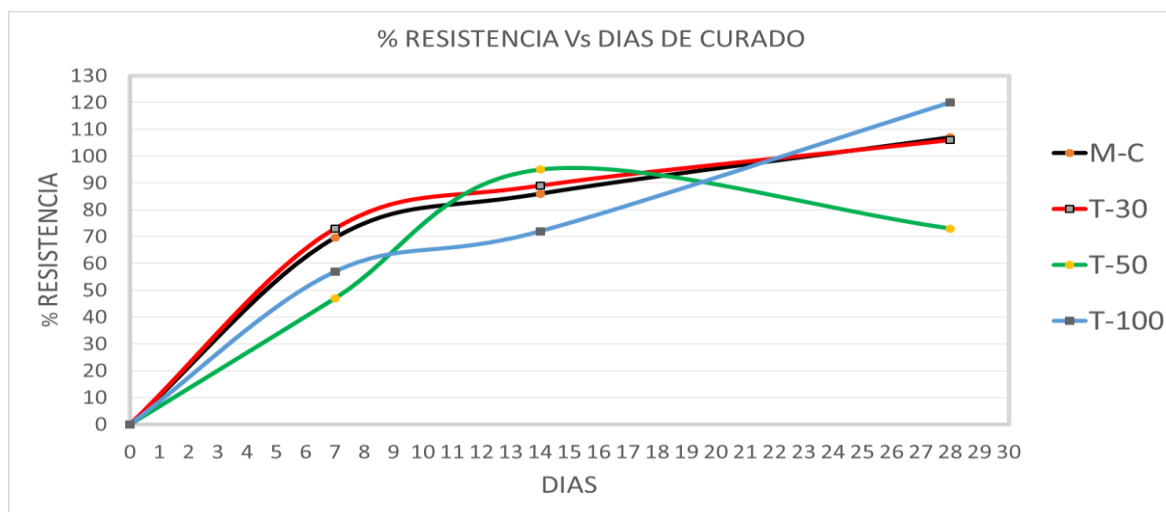


Figura 14. Grafica del % de resistencia Vs. edad de curado de los morteros (2% de poliurea) con diferentes tamaños de partícula. Nota: Fuente: Elaboración Propia Villadiego Natali, Vásquez Loraine)

La Figura 15 muestra las resistencias obtenidas para los morteros con porcentaje de adición de poliurea de 4% pero con distintos tamaños de partícula provenientes del tamiz No. 30, 50 y 100. Se observa un crecimiento de las resistencias para todos los morteros a los 7 días de curado, presentando la resistencia más alta el mortero T-50 con respecto al M-C. Los demás morteros muestran resistencias por debajo del M-C. A los 14 días de curado, el mortero T-50 sufre un abrupto decaimiento de su resistencia siendo más notorio a los 28 días de curado. Con respecto a

los demás morteros la resistencia aumenta con el tiempo de curado sin embargo los valores obtenidos no superan al M-C a los 28 días.

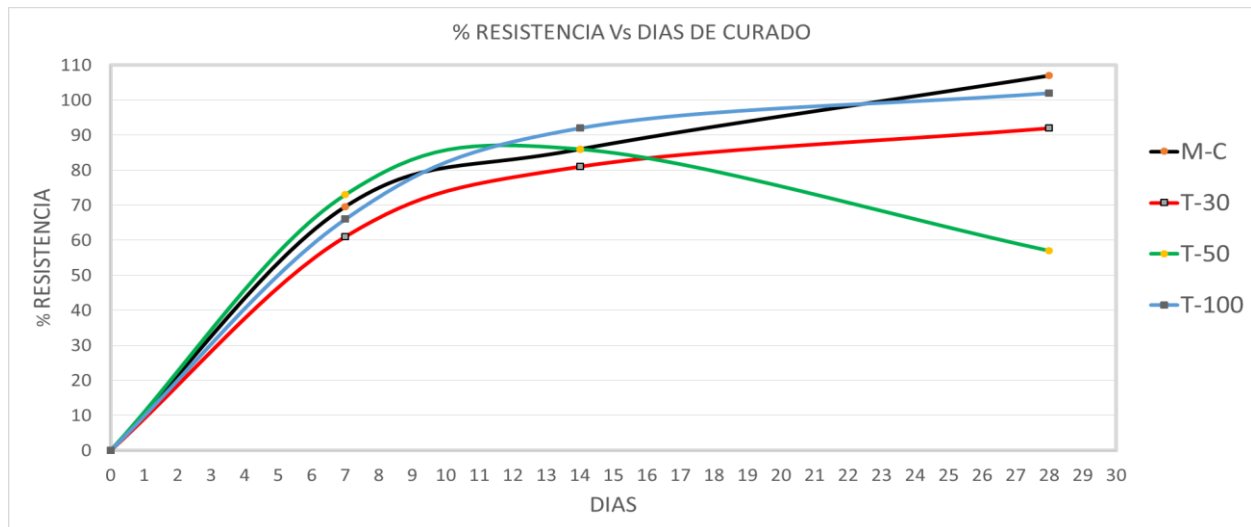


Figura 15. Gráfica del % de resistencia Vs. edad de curado de los morteros (4% de poliurea) con diferentes tamaños de partículas. Nota: Fuente: Elaboración Propia Villadiego Natali, Vásquez Loraine)

La Figura 16, muestra las resistencias obtenidas para los morteros con porcentaje de adición de poliurea del 5% pero con distintos tamaños de partícula provenientes del tamiz No. 30, 50 y 100. Se observa que a los 7 y 14 días de curado ningún mortero alcanza o supera la resistencia del M-C. Sin embargo, a los 28 días de curado el mortero T-100 supera la resistencia de M-C en un 21% mientras que los demás morteros no alcanzan a llegar a su resistencia.

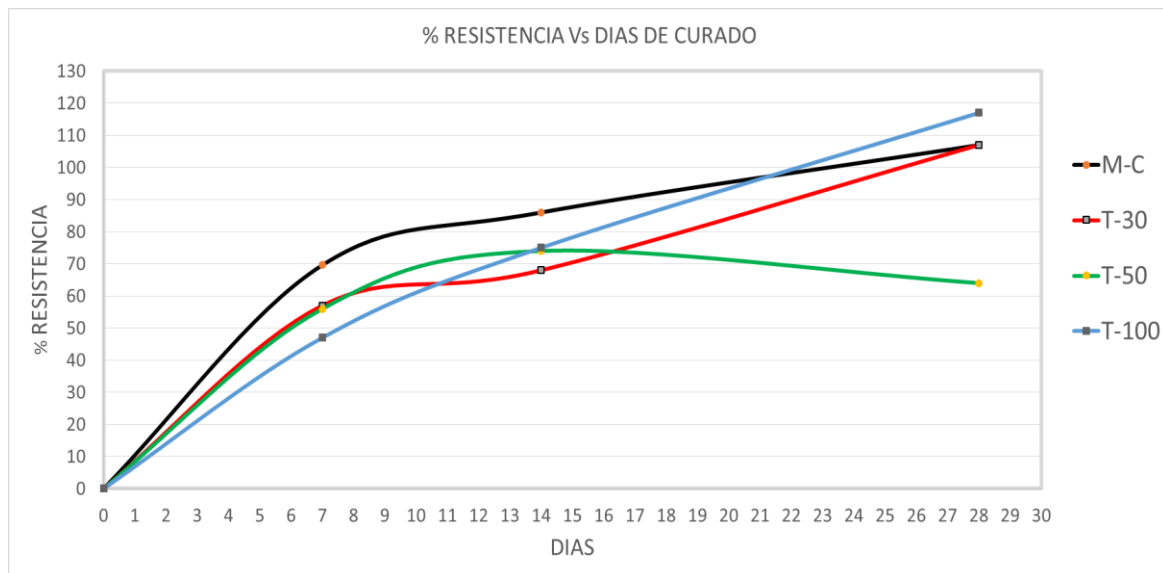


Figura 16. Grafica del % de resistencia Vs. edad de curado de los morteros (5% de poliurea) con diferentes tamaños de partícula. Nota: Fuente: Elaboración Propia Villadiego Natali, Vásquez Loraine).

En términos generales se puede establecer que la adición de poliurea con tamaño de partícula proveniente del tamiz No. 100 favorece mayores resistencias a compresión, debido probablemente a que entre menor sea el tamaño de la partícula de poliurea más facilidad tendrá de entrar en los poros que se generan en el mortero. El porcentaje de adición óptimo de poliurea para que esas resistencias sean superiores al mortero control (M-C) son de 2 y 5%.

5.3. Caracterización microestructural de los morteros mediante Microscopia Electrónica de Barrido (SEM)

La Figura 17 muestra las microfotografías obtenidas de la poliurea con tamaños de partícula retenidos en el tamiz No. 30, 50 y 100. En las imágenes, se observan tamaños de partícula superiores a 1000µm para las partículas T-30 y T-50, mientras que para la T-100 se observan tamaños de partícula menores a 500µm.

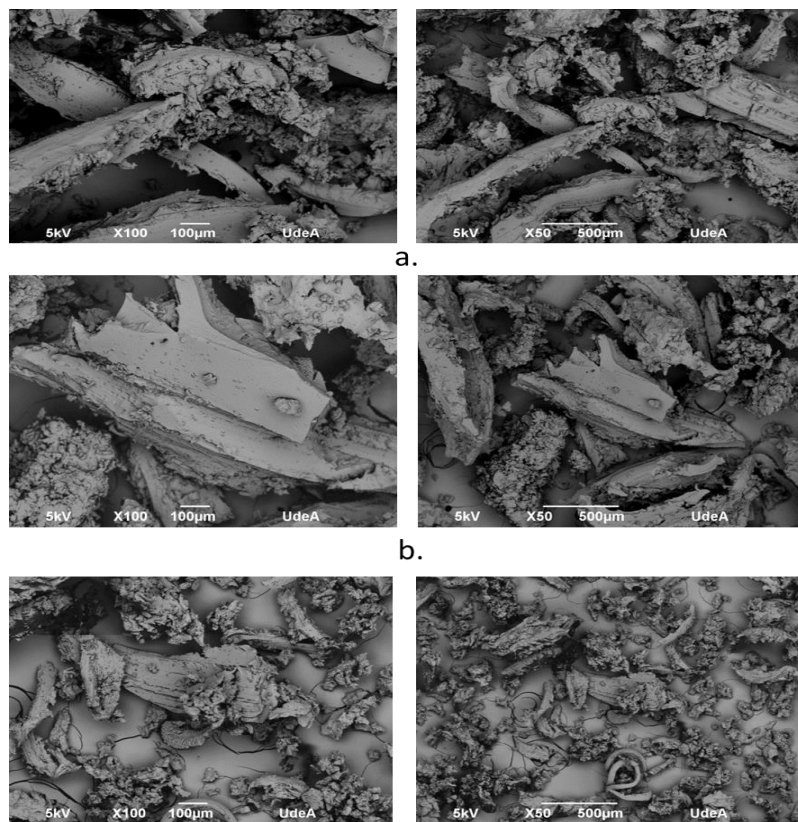


Figura 17. Microfotografías de partículas de poliurea. Tamaño de partícula retenido en el tamiz No. 30, 50 y 100 Fuente: Elaboración Universidad de Antioquia.

Para algunas muestras de morteros poliméricos no se encontraban segmentos de poliurea, debido a que estas eran extremadamente grandes para los campos de visualización en el SEM (datos suministrados por el laboratorio de microscopia electrónica de barrido (SEM) de la universidad de Antioquia). Cabe resaltar que la mayoría de las muestras mostraban los espacios dejados por la poliurea posterior a la falla.

Cuando se lograron visualizar las partículas de poliurea se procedió hacer las tomas panorámicas a 100X, en la cual se aprecia un segmento color gris oscuro y luego se realizaban los respectivos zooms a 500X y 3000X, para visualizar detenidamente los hidratos de la pasta del cemento.

La Figura 18, muestra las micrografías obtenidas para el mortero de pega M50-2 después de 28 días de curado. Se observan las agujas finas de Etringita (E; sulfoaluminato de calcio hidratado, Figura 18c), típicas de la pasta de cemento una vez hidratadas, así mismo se observa la presencia de cristales de silicatos de calcio hidratados (CSH, Figura 18c).

Las Figuras 19 y 20, muestran las micrografías obtenidas para el mortero de pega M50-4 y M50-5 después de 28 días de curado. Se observan nuevamente las agujas finas de Etringita (E; sulfoaluminato de calcio hidratado), placas de Portlandita (P; Hidróxido de calcio, Figura 20d) y cristales de silicatos de calcio hidratados (CSH).

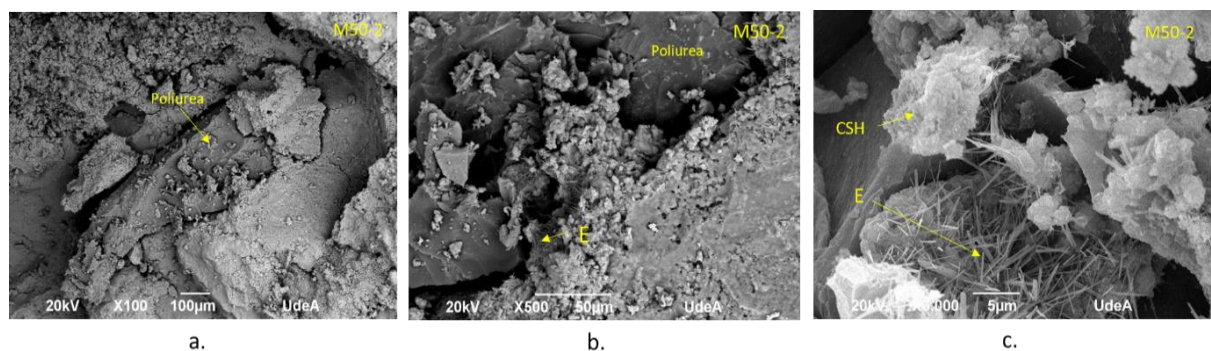


Figura 18. Microfotografía de mortero M50-2 a 28 días de curado. a.) M50-2 a 100X, b) M50-2 a 500Xy c) M50-2 a 3000X. Etringita (E), Portlandita (P), silicato de calcio hidratado (CSH).

Elaboración Universidad de Antioquia

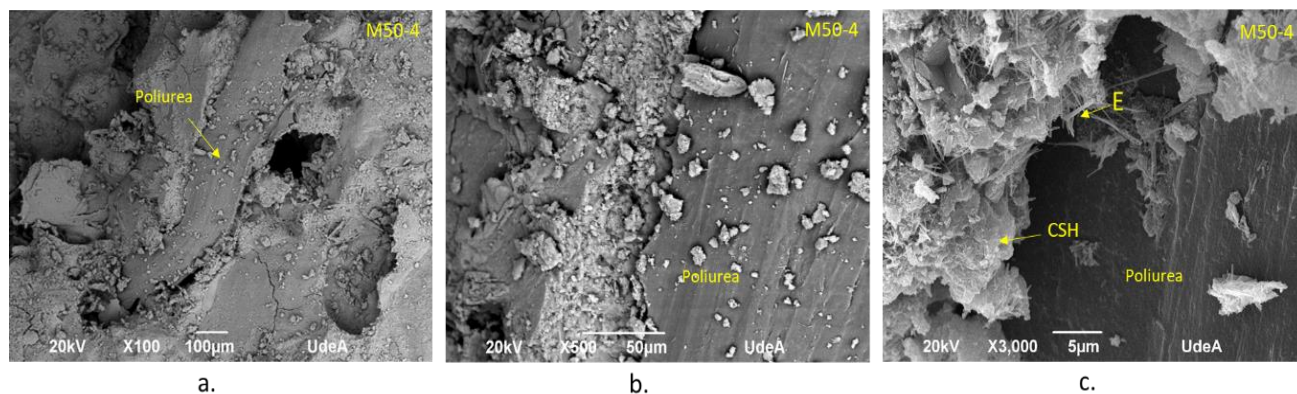


Figura 19. Microfotografía de mortero M50-4 a 28 días de curado. A.) M50-4 a 100X, b) M50-4 a 500X y c) M50-4 a 3000X. Etringita, silicato de calcio hidratado (CSH). Elaboración Universidad de Antioquia.

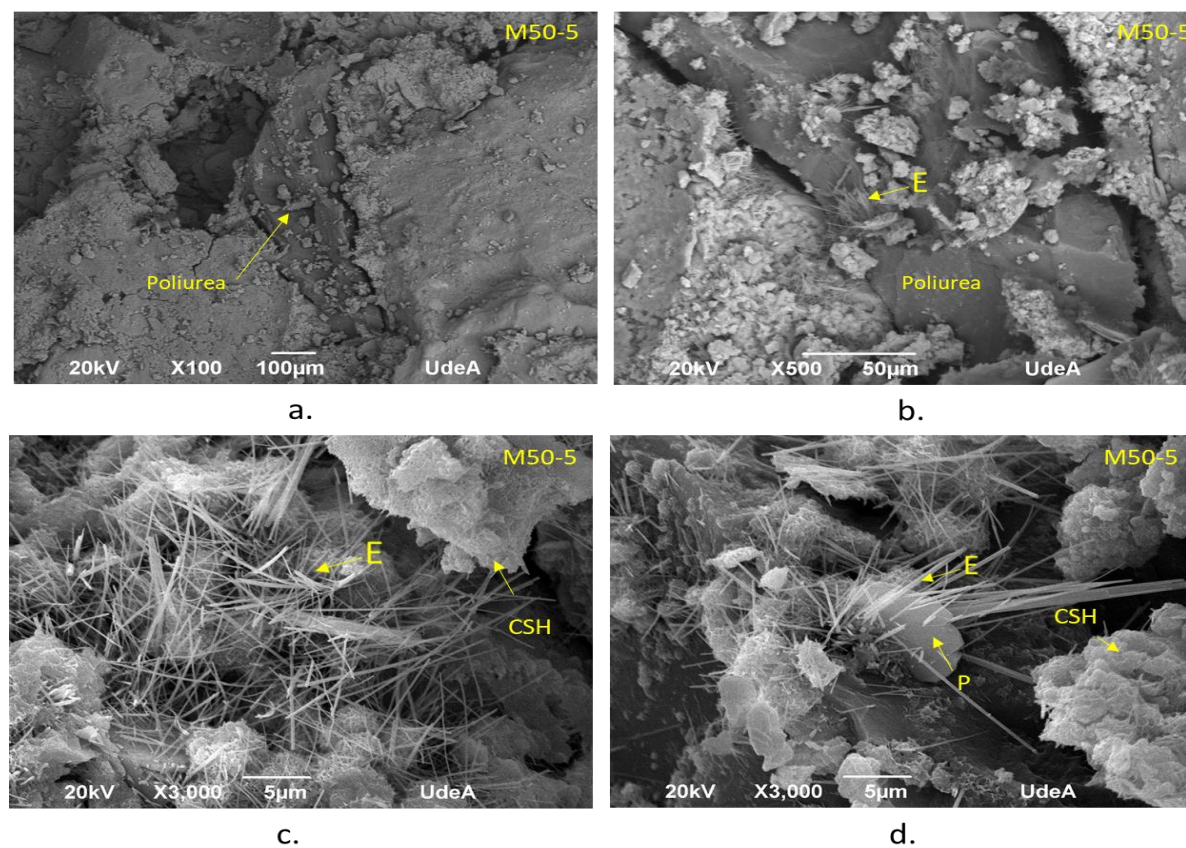


Figura 20. Microfotografía de mortero M50-5 a 28 días de curado. a) M50-5 a 100X, b) M50-5 a 500X y c, d) M50-5 a 3000X. Etringita (E), Portlandita (P), silicato de calcio hidratado (CSH).

Elaboración Universidad de Antioquia.

Se realizaron también imágenes microscópicas SEM al mortero M50-11, con el fin de analizar la variación de las microestructuras. Los resultados se muestran en la Figura 21. Se observa el mortero de pega con 11% de adición de poliurea. A 100X se muestra la poliurea de color gris oscuro y se logra apreciar que posee una textura diferente al resto de la pasta de cemento. A un zoom de 500X y 3000X ya se observan los típicos hidratos de cemento.

En términos generales se puede observar que independientemente de los porcentajes de adición de poliurea se encontraron hidratos y que estos hidratos del cemento siempre estaban unidos a la poliurea.

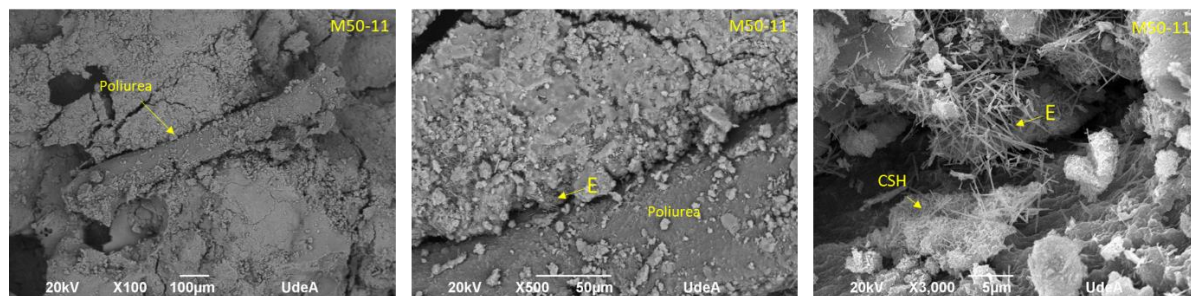


Figura 21. Microfotografía de mortero M50-11 a 28 días de curado. a) M50-5 a 100X, b) M50-5 a 500X y c) M50-5 a 3000X., Etringita (E), silicato de calcio hidratado (CSH). Elaboración Microscopio Electrónico de Barrido Universidad de Antioquia.

6.Conclusiones

- La investigación desarrollada permite inferir que los morteros fabricados con aditivo de poliurea retenido en el tamiz No. 100, y con porcentajes de adición del 2% y 5% son los que mejor resultados presentan en términos de resistencia a compresión para un mortero de pega.
- La cantidad de adición óptima de poliurea con aditivo retenido en el tamiz No .100 es 2% dado que se alcanzan resistencias hasta de un 21% superior en comparación a un mortero control.
- Se lograron observar las microestructuras típicas de la pasta de cemento: Etringita, Portlandita y silicato de calcio hidratado.

Teniendo en cuenta lo anterior podemos responder a la pregunta problema ¿La presencia de poliurea en un mortero de pega modificará las propiedades mecánicas y químicas del sistema comparadas con un mortero de pega tradicional?, sí, siempre y cuando el tamaño de partícula sea más fino para que el polímero se pueda adherir de una manera más compacta a los materiales del mortero de pega y con adiciones de hasta un 2%.

7. Referencias

- Alma, E. L., & Arquitectura, D. E. L. A. (s. f.). Cementos y Morteros.
- Becker, W. . (1979). Reaction Injection Moulding. Van Nostrand Rheinhold.
- Blog 360° Argos. (s. f.). Morteros para mampostería. Recuperado a partir de <http://blog.360gradosenconcreto.com/morteros-para-mamposteria-2/>
- Brydson, J. A. (1988). Rubbery Materials and Their Compounds. *Elsevier Applied Science*.
- Cruz, E. M. (2016). Desarrollo y caracterizacion de concreto polimerico modificado con fibras recicladas : Efecto de la radiacion Gamma.
- DE GUZMAN SANCHEZ, D. (2001). *Tecnología del concreto y del mortero*. Cali.
- Fowler, D. . (1999). Polymers in concrete: a vision for the 21st century.
- Gutiérrez de López, L. (2003). *El concreto y otros materiales para la construcción*. (2.^a ed.). Manizales. Recuperado a partir de <http://bdigital.unal.edu.co/6167/>
- Hoo, F. M., X, O., & Hoo, F. M. (2004). Blast response of walls retro fitted with elastomer coatings. *Struct Mater*.
- Marin, C. G. (2001). Caracterizacion de un mortero polimerico con resina de poliester insaturado y arido de albero para su aplicacion en la construccion.
- Mora, O. R. Asociacion nacional de fabricantes de mortero. Morteros guia general (2003). España.
- Ne-en, U. N. (2011). Español La.
- Poliurea. (s. f.-a). Recuperado a partir de <http://www.quimica.es/enciclopedia/Poliurea.html>
- Poliurea. (s. f.-b). Recuperado a partir de <http://argosindustrial.com.ar/poliurea/>

Porrero, J., Ramos, C., Grases, J., & Velazco, G. J. (2014). *MANUAL DEL CONCRETO ESTRUCTURAL*. Venezuela.

Quiroz, M., & Salamanca, L. (2006). *APOYO DIDÁCTICO PARA LA ENSEÑANZA Y APRENDIZAJE EN LA ASIGNATURA DE “TECNOLOGÍA DEL HORMIGÓN”*. UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN SIMÓN.

Salamanca Correa, R. (2001). *LA TECNOLOGÍA DE LOS MORTEROS*. Recuperado a partir de <http://www.redalyc.org/pdf/911/91101107.pdf>

Tecnopol. (s. f.). Definición y descripción de la Poliurea. Recuperado a partir de <https://tecnopol.es/actualidad/que-es-la-poliurea>

YUMA CONCESIONARIA. (s. f.). Descripción y trazado Ruta del sol sector 3. Recuperado a partir de http://www.yuma.com.co/index.php?option=com_content&view=article&id=73&Itemid=6

Norma Técnica Colombiana, NTC 3356, "Mortero premezclado para Mampostería".Icontec, Bogotá, 2000.

ANEXO 1

Hoja técnica.

La poliurea utilizada para nuestro análisis es una poliurea semirrígida de fraguado extra rápido que es utilizada para el relleno de juntas de control y de construcción en pisos industriales de concreto, representa una nueva generación de tecnología de poliurea con beneficios y características distintos a cualquier otro sellante de juntas de poliurea en el mercado.

Beneficios:

- un tiempo de fraguado súper rápido
- tiempo prolongado para el rasurado
- se puede cortar a ras de piso inmediatamente después de colocarlo o hasta 24 horas después.
- protege los labios de las juntas de las cargas pesadas y el alto tráfico, reduciendo su desportilla miento.
- cumple con las recomendaciones de desempeño del ACI 302 en cuanto a juntas de control y construcción.
- cumple con los requerimientos del USDA, (uso en instalaciones para procesar alimentos) y de la Agencia Canadiense para la Inspección de Alimentos.

INFORMACION TECNICA

EUCO QWIKJOINT 200 es un producto de dos componentes.

Parte A : Ámbar transparente

Parte B : Gris Pigmentado

Parte A + B : Gris Similar al del concreto

Proporción de mezcla : 1: 1

Tabla 22.

Comportamientos

Seco al tacto a 23°C (70°F)	: 1 – 3 minutos
Tráfico ligero a 23°C (70°F)	: 15 minutos
Todo tráfico a 23°C (70°F)	: 30 minutos
Resistencia a la tensión ASTM D-412	: > 800 psi
Elongación ASTM D-412	: 200 – 250%
Módulo de Tensión ASTM D-412	: 600 – 675 psi
Dureza Shore D ASTM D-2240	: 32 – 38
Dureza Shore A ASTM D-2240	: 88 – 90

Nota : Fuente: Elaboración de («Poliurea», s. f.-b)

Los anteriores valores típicos son obtenidos en condiciones de laboratorio.

RESISTENCIA QUÍMICA

La resistencia química se expresa en la tabla 22.

Indices Químicos:

Excelente : Sin efecto hasta por 2 semanas

Buena : Sin efecto por 24 horas

Deficiente : Deterioro en 24 horas

USOS

EUCO QWIKJOINT 200 es recomendado en:

Juntas de control y construcción de concreto

Reparaciones de grietas en pisos viejos

Pisos industriales y comerciales - Pisos de congeladores o cuartos fríos.

Tabla 23.

Resistencia química de la poliurea.

Componentes	comportamiento
Ácido acético, 5%	Excelente
Alcohol, 10%	Excelente
Álcalis	Excelente
Hidróxido de Amonio, 10%	Excelente
Líquido de frenos	Buena
Diesel	Excelente
Etilen Glicol	Buena
Gasolina	Excelente
Ácido Clorhídrico, 20%	Excelente
JP-4 Combustible de avión	Excelente
Aceite de motor	Excelente
Agua salada	Excelente
Hidróxido de Sodio, 10%	Excelente
Ácido Sulfúrico, 10%	Buena
Xileno	Deficiente

Nota: Fuente: Elaboración de («Poliurea», s. f.-b)

VENTAJAS

Su fórmula de fraguado rápido reduce el tiempo de obra.

Su tiempo prolongado para el rasurado o cortado, permite mayor flexibilidad para programar las operaciones de sellado de las juntas.

No presenta burbujas ni espuma cuando se usa en juntas con humedad.

Excelente desempeño, reduce las reparaciones y el mantenimiento de las juntas de piso.

Apto para sellar grietas en pisos viejos reduciendo la tasa de deterioro de la junta.

Cura a temperaturas bajas hasta de -29°C (-20°F).

Menor sensibilidad a la humedad que las poliureas normales.

RENDIMIENTO

Tabla 24

Rendimientos aproximados por metro por galón.

Ancho de la Junta	Profundidad de la Junta		
	38 mm (1,5")	51 mm (2")	63 mm (2,5")
4,8 mm (3/16")	20,8 m	15,9 m	12,1 m
6,4 mm (1/4")	15,9 m	12,1 m	9,1 m
9,5 mm (3/8")	9,8 m	7,9 m	6 m

Nota : Fuente: Elaboración de («Poliurea», s. f.-b)

APLICACION

Preparación de la superficie

La junta debe estar limpia y libre de agua encharcada. Todo el aceite, tierra, suciedad, pintura y cualquier otro material que pueda impedir la adhesión debe ser removido.

Todas las caras de la junta deben tener una textura abierta sin presencia de curadores o selladores.

Si este producto se va a utilizar para rellenar grietas de piso, se debe abrir y limpiar las grietas antes de rellenarlas. Idealmente, los cortes deben quedar en ángulo recto.

Remover completamente todos los residuos con una aspiradora o lavado a presión.

Soporte de Junta

EUCLID – TOXEMENT recomienda que la junta o grieta se llene completamente con EUCO QWIKJOINT 200 para asegurar la transferencia de carga apropiada.

Evitar el uso de SELLASIL SOPORTE de EUCLID – TOXEMENT, arena u otro material de relleno con el fin de reducir volumen.

Imprimación

EUCO QWIKJOINT 200 no requiere de imprimante para su aplicación.

Mezcla

Los cartuchos de EUCO QWIKJOINT 200 se deben agitar vigorosamente antes de ser utilizados, dado que es normal que se presente un poco de sedimentación durante el almacenamiento. Siga las instrucciones específicas que aparecen en la etiqueta del cartucho. Si se utiliza el producto en cuñetes, se requiere una máquina de mezclado y aplicación.

La parte B debe ser mezclada separadamente antes del uso. Siga las instrucciones del fabricante de la máquina para su operación.

Nota: Si el EUCO QWIKJOINT 200 se almacena en la bomba dispensadora durante la noche, coloque una envoltura plástica en la parte superior de cada tanque para prevenir la exposición al aire. EUCO QWIKJOINT 200 Parte B puede tender a sedimentarse, pero regresa a su apariencia normal con un ligero mezclado mediante taladro o a mano.

Colocación

EUCLID – TOXEMENT recomienda colocación a profundidad completa. Se deben sobrellenar las juntas y cortarlas a nivel con el piso y labio de la junta para dar una apariencia plana y pareja. El proceso de cortar el exceso de EUCO QWIKJOINT 200 puede comenzar aproximadamente 30 minutos después de su colocación y hasta 24 horas más tarde, dependiendo de las condiciones de la obra, tales como la temperatura del concreto y temperatura ambiente.

Limpieza

La limpieza de las herramientas y limpieza general se puede realizar con CARBOMASTIC No. 1 de EUCLID - TOXEMENT. Limpie antes que se haya curado el EUCO QWIKJOINT 200.

Recomendaciones especiales

Basado en las recomendaciones del ACI – 302, el material para el llenado de juntas se debe aplicar tan tarde como sea posible después de la construcción para garantizar una mínima contracción adicional en la losa. Consulte el ACI – 302 referentes a la contracción del concreto, relleno de juntas y las expectativas de los usuarios.

De un diseño apropiado de la junta depende el desempeño de la misma.

Las superficies de contacto de las juntas deben estar limpias y secas para una mejor adhesión.

El producto está diseñado para ser utilizado en juntas con un movimiento mínimo.

No lo utilice en juntas con movimientos grandes

(Expansión / aislamiento).

Los bordes de las juntas deben estar bien limpios antes de rellenarlos, especialmente si se han aplicado sellantes o densificadores en el piso.

EUCO QWIKJOINT 200 y todo equipo de aplicación debe mantenerse a temperaturas de 10°C o mayores.

El producto se puede amarillear y decolorar con el paso del tiempo si es expuesto a luz ultravioleta natural o artificial. Si se requiere resistencia a la luz ultravioleta u otros colores, elija el EUCO QWIKJOINT UVR de EUCLID – TOXEMENT, disponible en 33 colores.

ALMACENAMIENTO

EUCO QWIKJOINT 200 debe almacenarse en su envase original, herméticamente cerrado y bajo techo.

Vida útil de almacenamiento: 1 año en su envase original.

Presentación

Cartucho de dos componentes 600 mL

Kit de cuñetes 10 gal (37,9 litros)

Las Hojas Técnicas de los productos EUCLID - TOXEMENT pueden ser modificadas sin previo aviso. Visite nuestra página Web www.toxement.com.co para consultar la última versión.

Los resultados que se obtengan con nuestros productos pueden variar a causa de las diferencias en la composición de los sustratos sobre los que se aplica o por efectos de la variación de la temperatura y otros factores. Por ello recomendamos hacer pruebas representativas previas a su empleo en gran escala.

EUCLID - TOXEMENT se esfuerza por mantener la alta calidad de sus productos, pero no asume responsabilidad alguna por los resultados que se obtengan como consecuencia de su empleo incorrecto o en condiciones que no estén bajo su control directo. («Poliurea», s. f.-b)

ANEXO 2

Certificado de calibración del laboratorio INGEBOSC S.A.S

		<h1 style="text-align: center;">INGENIERÍA & CALIBRACIONES S.A.S</h1>	
<h2 style="text-align: center;">Certificado de Calibración</h2> <p style="text-align: center;">Certificate of Calibration</p>		F-0141	
PAG : 1 de 3			
INSTRUMENTO Apparatus	:	MAQUINA DE ENSAYO A COMPRESION DE CILINDROS	
FABRICANTE Manufacturer	:	R Y R	
MODELO Model	:	30000100	
NUMERO DE SERIE Serial Number	:	3010120612	
INDICACIÓN Indication	:	Digital	
RANGO DE MEDICIÓN Measurement Range	:	100,00 kN 1000,00 kN	
SOLICITANTE Customer	:	INGEBOSC S.A.S.	
DIRECCIÓN Address	:	CARRERA 18 # 10 - 10 (BOSCONIA, CESAR)	
FECHA DE CALIBRACIÓN Calibration Date	:	18 de abril de 2018	
NUMERO DE PAGINAS DEL CERTIFICADO INCLUYENDO ANEXOS : Number of pages of this Certificate and Documents Attached	:	3	

Este certificado de calibración solo puede ser reproducido totalmente con la autorización del laboratorio de metrología de Ingecal S.A.S. Los certificados de calibración no son válidos sin las firmas y estampilla de calibración.

This calibration certificate may not be reproduced other than in full except with the permission of the issuing laboratory of metrology Ingecal S.A.S. Calibration certificates without signature and seal are not valid.

Los resultados contenidos en el presente certificado se refieren al momento y condiciones en que se realizaron las mediciones. El laboratorio no se responsabiliza de los perjuicios que puedan derivarse del uso inadecuado de los

The results of this certificate refer to the moment and conditions in which the measurements were made. The issuing laboratory no responsibility for damages ensuing mis use of the calibrated instruments.

El usuario es responsable de la recalibración de sus instrumentos a intervalos apropiados.

The user is responsible for having the apparatus calibrated at appropriate intervals.

Firma Autorizada(s)
Authorized Signature (s)



DEYANIRA DÍAZ B.
ELABORADO
Elaborate



NIT. 900.365.615-1



Joliver Indaburo M.
REVISADO / AUTORIZADO
Checked / Authorized

Calle 152A No. 117-81

Certificate of Calibration

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓNNUMERO: **F-0141**

Número

PAG: 2 de 3

FECHA DE CALIBRACIÓN: 18 de abril de 2018

Temperatura Ambiente

Inicial 32,0 °C

Final 32,1 °C

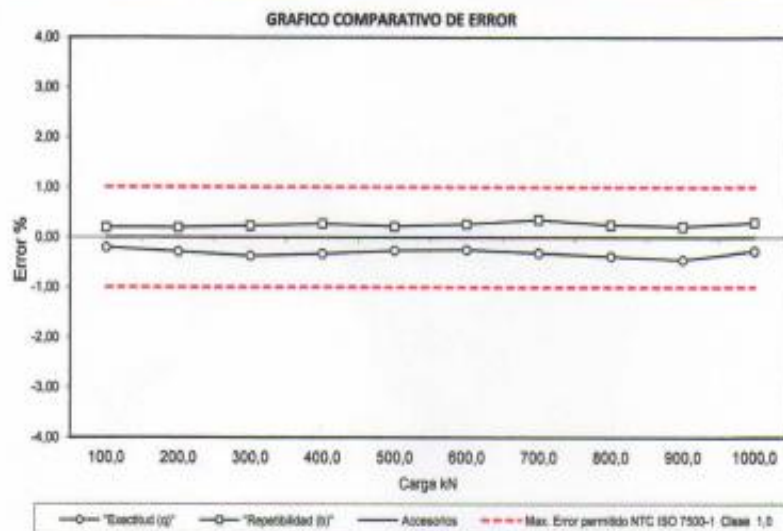
						Límite inferior de la escala del instrumento de medición		20,0 kN				
						Resolución (f)		0,10 kN				
Dirección de la carga:						Compresión						
Indicación de la máquina:						Digital		Resolución relativa de la máquina de ensayo (a) %				
								al 10% = 0,10				
								al 20% = 0,05				
CARGA (%)	Indicación del instrumento Patrón (F) en kN					PROMEDIO L1,L2 Y L3 F	Indicación del instrumento a calibrar (Fi)	Errores encontrados %				
	L1	Girar Celda 120° L2	Girar Celda 120° L3	L4	Reversibilidad F6 F' L2 Descendente			Resolución relativa (a)	Reversibili- dad (v)	Repetibilidad (b)	Exactitud (q)	Acceso- rios
10	100,10	100,20	100,30			100,20	100,0	0,10		0,20	-0,20	
20	200,80	200,50	200,40			200,57	200,0	0,05		0,20	-0,28	
30	301,50	300,80	301,00			301,10	300,0	0,03		0,23	-0,37	
40	401,00	400,90	402,00			401,30	400,0	0,03		0,27	-0,32	
50	502,00	501,00	500,90			501,30	500,0	0,02		0,22	-0,26	
60	602,50	601,00	600,90			601,47	600,0	0,02		0,27	-0,24	
70	703,50	702,00	701,00			702,17	700,0	0,01		0,36	-0,33	
80	802,00	803,00	804,00			803,00	800,0	0,01		0,25	-0,37	
90	903,00	904,00	905,00			904,00	900,0	0,01		0,22	-0,44	
100	1001,00	1003,00	1004,00			1002,67	1000,0	0,01		0,30	-0,27	

Indicación Residual de la máquina de ensayo sin carga (F ₀)				
L1	L2	L3	L4	
-0,18	-0,25	-0,50		

	Cero F ₀	Reversibilidad (v)	Repetibilidad (b)	Exactitud (q)	Accesorios
Máximos errores encontrados (%)	-0,02	No se determino	0,36	-0,44	No se determino
Máximos errores permitido para clase : 1	± 0,1	± 1,5	1,0	± 1,0	1,50
Norma Técnica Colombiana NTC ISO 7500-1 2003-03-26 Numeral:	6.4.5	6.4.8	6.5.2	6.5.1	6.4.6

Equipos para estudio
de Suelos, Concretos y Asfaltos
Calibración y Mantenimiento

Calle 152A No. 117-81
Tel: 465 7070 Cel: 316 314 4278
E-mail: gerencia.ingecals@gmail.com
Bogotá - Colombia



ACORDE A LOS ERRORES RELATIVOS MAXIMOS PRESENTADOS Y SEGUN LAS PRESCRIPCIONES DE LA NORMA TECNICA COLOMBIANA NTC ISO 7500-1, LA MAQUINA DE ENSAYO CALIBRADA SE CLASIFICA COMO:

CLASE 1 DEL 10 % HASTA EL 100 % DE SU CAPACIDAD MAXIMA

TRAZABILIDAD :

EL LABORATORIO DE METROLOGÍA DE **INGECALS S.A.S.**, ASEGURA EL MANTENIMIENTO DE LA TRAZABILIDAD DE LOS PATRONES DE TRABAJO UTILIZADOS EN LAS MEDICIONES.

EL LABORATORIO DE METROLOGÍA DE **INGECALS S.A.S.**, CUSTODIA Y MANTIENE ESTOS PATRONES, LOS CUALES HAN SIDO CERTIFICADOS POR EL CENAM DE MEXICO, ACORDE A LO ESTABLECIDO EN LA NORMA ISO 876 : 2004, QUE EN COLOMBIA ES LA NORMA TECNICA COLOMBIANA NTC 4350 (2007 - 03 - 21).

Equipos utilizados en la calibración

Equipo	Fabricante	Modelo	Serie	No.CERTIFICADO	Fecha Calibración
Celda de carga	LEXUS	DSK-MA100 t	M151225990	4445	26/11/2017

OBSERVACIONES :

- 1.- De acuerdo con los resultados anteriores se concede el sello: 9-0141
- 2.- La próxima calibración deberá efectuarse dependiendo del standard de mantenimiento, su frecuencia de uso y el tipo de material ensayado y deberá efectuarse en intervalos inferiores a 12 meses.
- 3.- La máquina de ensayos deberá ser calibrada inmediatamente después de cualquier reparación ya que la sustitución de elementos del sistema mecánico o eléctrico afectan la operación del sistema de medida.
- 4.- Si la máquina de ensayos es reubicada, se deberá repetir la calibración. Igualmente, cuando exista razón de duda con respecto a la exactitud de la carga, independientemente del tiempo transcurrido desde la última calibración.
- 5.- Los datos emitidos en el presente certificado, se ajustan al momento y condiciones dadas en la calibración **INGECALS S.A.S.** no se hace responsable por daños ocasionados al equipo debido al uso inadecuado.

**Equipos para estudio
de Suelos, Concretos y Asfaltos
Calibración y Mantenimiento**

Calle 152A No. 117-81
Tel: 465 7070 Cel: 316 314 4278
E-mail: gerencia.ingecals@gmail.com
Bogotá - Colombia

ANEXO 3

Cálculos para hallar área de cada mortero.

$$\text{Área (mm}^2\text{)} = \text{Ancho (mm)} * \text{Altura (mm)} \quad (2)$$

De la ecuación (2) tenemos para morteros del tamiz No. 50

$$\text{Área (mm}^2\text{)} = 50 \text{ (mm)} * 50 \text{ (mm)} = 2500\text{mm}^2$$

Calculo para hallar la densidad (kg/m³)

$$\text{Densidad (kg/m}^3\text{)} = ((\frac{\text{peso}}{1000}) / (\text{Area} * \text{Longitud})) * 1000^3 \quad (3)$$

De acuerdo a la ecuación (3) se tiene la densidad de un mortero, que retiene el tamiz No. 50 para los 7 días de curado, con porcentaje de poliurea de 2 %

$$\text{Densidad (kg/m}^3\text{)} = ((\frac{248.7g}{1000}) / (2500\text{mm}^2 * 50\text{mm})) * 1000^3 = 1990 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Densidad (kg/m}^3\text{)} = ((\frac{247.8g}{1000}) / (2500\text{mm}^2 * 50\text{mm})) * 1000^3 = 1982 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Densidad (kg/m}^3\text{)} = ((\frac{248.5g}{1000}) / (2500\text{mm}^2 * 50\text{mm})) * 1000^3 = 1988 \text{ kg/m}^3$$

De acuerdo a la ecuación (3) se tiene la densidad de un mortero, que retiene el tamiz No. 50 para los 14 días de curado, con porcentaje de poliurea de 2 %

$$\text{Densidad (kg/m}^3\text{)} = ((\frac{250.1g}{1000}) / (2500\text{mm}^2 * 50\text{mm})) * 1000^3 = 2001 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Densidad (kg/m}^3\text{)} = ((\frac{252.0g}{1000}) / (2500\text{mm}^2 * 50\text{mm})) * 1000^3 = 2016 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Densidad (kg/m}^3\text{)} = \left(\frac{250.8g}{1000} \right) / (2500\text{mm}^2 * 50\text{mm}) * 1000^3 = 2006\text{kg/m}^3$$

De acuerdo a la ecuación (3) se tiene la densidad de un mortero, que retiene el tamiz No. 50 para los 28 días de curado, con porcentaje de poliurea de 2 %

$$\text{Densidad (kg/m}^3\text{)} = \left(\frac{252.4g}{1000} \right) / (2500\text{mm}^2 * 50\text{mm}) * 1000^3 = 2019 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Densidad (kg/m}^3\text{)} = \left(\frac{252.7g}{1000} \right) / (2500\text{mm}^2 * 50\text{mm}) * 1000^3 = 2022 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Densidad (kg/m}^3\text{)} = \left(\frac{252.2g}{1000} \right) / (2500\text{mm}^2 * 50\text{mm}) * 1000^3 = 2018 \text{ kg/m}^3$$

Para calcular la Carga máxima (kN) fue necesario utilizar la máquina de ensayos a compresión

Calculo para hallar Esfuerzo (kg/cm²)

$$\text{Esfuerzo (kg/cm}^2\text{)} = \frac{\text{Carga maxima} * 101.9716}{\text{Area}} * 10^2 \quad (4)$$

Con base a la formula (4) se obtienen los valores de Esfuerzo (kg/cm²) que retiene el tamiz No. 50 a los 7 días de curado, con porcentaje de poliurea de 2 %.

$$\text{Esfuerzo (kg/cm}^2\text{)} = \frac{24.4 \text{ KN} * 101.9716}{2500\text{mm}^2} * 10^2 = 99.5\text{kg/cm}^2$$

$$\text{Esfuerzo (kg/cm}^2\text{)} = \frac{23.6 \text{ KN} * 101.9716}{2500\text{mm}^2} * 10^2 = 96.3\text{kg/cm}^2$$

$$\text{Esfuerzo (kg/cm}^2\text{)} = \frac{24.1 \text{ KN} * 101.9716}{2500\text{mm}^2} * 10^2 = 98.3\text{kg/cm}^2$$

Con base a la formula (4) se obtienen los valores de Esfuerzo (kg/cm²) que retiene el tamiz No. 50 a los 14 días de curado, con porcentaje de poliurea de 2 %.

$$\text{Esfuerzo (kg/cm}^2\text{)} = \frac{49.8 \text{ KN} * 101.9716}{2500 \text{ mm}^2} * 10^2 = 203,1 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Esfuerzo (kg/cm}^2\text{)} = \frac{49.2 \text{ KN} * 101.9716}{2500 \text{ mm}^2} * 10^2 = 200,7 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Esfuerzo (kg/cm}^2\text{)} = \frac{49.3 \text{ KN} * 101.9716}{2500 \text{ mm}^2} * 10^2 = 201,1 \text{ kg/cm}^2$$

Con base a la formula (4) se obtienen los valores de Esfuerzo (kg/cm²) que retiene el tamiz No. 50 a los 28 días de curado, con porcentaje de poliurea de 2 %.

$$\text{Esfuerzo (kg/cm}^2\text{)} = \frac{37.9 \text{ KN} * 101.9716}{2500 \text{ mm}^2} * 10^2 = 154,6 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Esfuerzo (kg/cm}^2\text{)} = \frac{38.4 \text{ KN} * 101.9716}{2500 \text{ mm}^2} * 10^2 = 156,6 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Esfuerzo (kg/cm}^2\text{)} = \frac{37.7 \text{ KN} * 101.9716}{2500 \text{ mm}^2} * 10^2 = 153,8 \text{ kg/cm}^2$$

Calculo para hallar Esfuerzo (MPa)

$$\text{Esfuerzo (MPa)} = \frac{\text{Carga Maxima} * 1000}{\text{Area}} \quad (5)$$

De la ecuación (5) hallamos Esfuerzo (MPa) que retiene el tamiz No. 50 con 7 días de curado a un porcentaje de 2 %.

$$\text{Esfuerzo (MPa)} = \frac{24.4 \text{ KN} * 1000}{2500 \text{ mm}^2} = 9,76 \text{ MPa}$$

$$\text{Esfuerzo (MPa)} = \frac{23.6 \text{ KN} * 1000}{2500 \text{ mm}^2} = 9,44 \text{ MPa}$$

$$\text{Esfuerzo (MPa)} = \frac{24.1 \text{ KN} * 1000}{2500 \text{ mm}^2} = 9,64 \text{ MPa}$$

De la ecuación (5) hallamos Esfuerzo (MPa) que retiene el tamiz No. 50 con 14 días de curado a un porcentaje de 2 %.

$$\text{Esfuerzo (MPa)} = \frac{49.8 \text{ KN} * 1000}{2500 \text{ mm}^2} = 19,92 \text{ MPa}$$

$$\text{Esfuerzo (MPa)} = \frac{49.2 \text{ KN} * 1000}{2500 \text{ mm}^2} = 19,68 \text{ MPa}$$

$$\text{Esfuerzo (MPa)} = \frac{49.3 \text{ KN} * 1000}{2500 \text{ mm}^2} = 19,72 \text{ MPa}$$

De la ecuación (5) hallamos Esfuerzo (MPa) que retiene el tamiz No. 50 con 28 días de curado a un porcentaje de 2 %.

$$\text{Esfuerzo (MPa)} = \frac{37.9 \text{ KN} * 1000}{2500 \text{ mm}^2} = 15,16 \text{ MPa}$$

$$\text{Esfuerzo (MPa)} = \frac{38.4 \text{ KN} * 1000}{2500 \text{ mm}^2} = 15,36 \text{ MPa}$$

$$\text{Esfuerzo (MPa)} = \frac{37.7 \text{ KN} * 1000}{2500 \text{ mm}^2} = 15,08 \text{ MPa}$$

Calculo para hallar esfuerzo (psi)

$$\text{Esfuerzo (psi)} = \text{Esfuerzo (MPa)} * 145,04 \quad (6)$$

De la ecuación (6) tenemos el esfuerzo (psi) que retiene el tamiz No. 50 con 7 días de curado a un porcentaje de 2 %.

$$\text{Esfuerzo (psi)} = 9,76 \text{ (MPa)} * 145,04 = 1416 \text{ (psi)}$$

$$\text{Esfuerzo (psi)} = 9,44 \text{ (MPa)} * 145,04 = 1369 \text{ (psi)}$$

$$\text{Esfuerzo (psi)} = 9,64 \text{ (MPa)} * 145,04 = 1398 \text{ (psi)}$$

De la ecuación (6) tenemos el Esfuerzo (psi) que retiene el tamiz No. 50 con 14 días de curado a un porcentaje de 2 %.

$$\text{Esfuerzo (psi)} = 19,92 \text{ (MPa)} * 145,04 = 2889 \text{ (psi)}$$

$$\text{Esfuerzo (psi)} = 19,68 \text{ (MPa)} * 145,04 = 2854 \text{ (psi)}$$

$$\text{Esfuerzo (psi)} = 19,72 \text{ (MPa)} * 145,04 = 2860 \text{ (psi)}$$

De la ecuación (6) tenemos el Esfuerzo (psi) que retiene el tamiz No. 50 con 7 días de curado a un porcentaje de 2 %.

$$\text{Esfuerzo (psi)} = 15,16 \text{ (MPa)} * 145,04 = 2199 \text{ (psi)}$$

$$\text{Esfuerzo (psi)} = 15,36 \text{ (MPa)} * 145,04 = 2228 \text{ (psi)}$$

$$\text{Esfuerzo (psi)} = 15,08 \text{ (MPa)} * 145,04 = 2187 \text{ (psi)}$$

Resistencia especificación PSI: 3000 PSI

Calculo para hallar % Resistencia

$$\% \text{ Resistencia} = \frac{\text{Esfuerzo (PSI)}}{\text{Resistencia especificacion PSI}} * 100 \quad (7)$$

De la ecuación (7) tenemos el para él % Resistencia que retiene tamiz No. 50 con 7 días de curado a un porcentaje de 2 %.

$$\% \text{ Resistencia} = \frac{1416 \text{ (PSI)}}{3000 \text{ PSI}} * 100 = 47\%$$

$$\% \text{ Resistencia} = \frac{1369 \text{ (PSI)}}{3000 \text{ PSI}} * 100 = 46\%$$

$$\% \text{ Resistencia} = \frac{1398 \text{ (PSI)}}{3000 \text{ PSI}} * 100 = 47\%$$

De la ecuación (7) tenemos el para él % Resistencia que retiene tamiz No. 50 con 14 días de curado a un porcentaje de 2 %.

$$\% \text{ Resistencia} = \frac{2889 \text{ (PSI)}}{3000 \text{ PSI}} * 100 = 96\%$$

$$\% \text{ Resistencia} = \frac{2854 \text{ (PSI)}}{3000 \text{ PSI}} * 100 = 95\%$$

$$\% \text{ Resistencia} = \frac{2860 \text{ (PSI)}}{3000 \text{ PSI}} * 100 = 95\%$$

De la ecuación (7) tenemos el para él % Resistencia que retiene tamiz No. 50 con 28 días de curado a un porcentaje de 2 %.

$$\% \text{ Resistencia} = \frac{2199 \text{ (PSI)}}{3000 \text{ PSI}} * 100 = 73\%$$

$$\% \text{ Resistencia} = \frac{2228 \text{ (PSI)}}{3000 \text{ PSI}} * 100 = 74\%$$

$$\% \text{ Resistencia} = \frac{2187 \text{ (PSI)}}{3000 \text{ PSI}} * 100 = 73\%$$

Tabla 25.

Resultados de resistencia a la tracción de morteros preparados con poliurea tamiz No. 50 con porcentaje de aditivo del 2%

Muestra Nº	Localización Obra	Fecha de toma	Fecha de rotura	Edad (Días)	Peso (g)	Long. (mm)	Ancho (mm)	Altura (mm)	Área (mm ²)	Densidad (kg/m ³)	Carga máxima (kN)	Esfuerzo (kg/cm ²)	ESFUERZO (psi)	Esfuerzo (MPa)	RESISTENCIA ESPECÍFICA P.S.I.	% Resistencia	Defectos muestra
1	MUESTRA CON 1,9% POLIURIA	19/07/2018	26/07/2018	7	248,7	50	50	50	2500	1990	24,4	99,5	1416	9,76	3000	47	-
1	MUESTRA CON 1,9% POLIURIA	19/07/2018	26/07/2018	7	247,8	50	50	50	2500	1982	23,6	96,3	1369	9,44	3000	46	-
1	MUESTRA CON 1,9% POLIURIA	19/07/2018	26/07/2018	7	248,5	50	50	50	2500	1988	24,1	98,3	1398	9,64	3000	47	-
1	MUESTRA CON 1,9% POLIURIA	19/07/2018	2/08/2018	14	250,1	50	50	50	2500	2001	49,8	203,1	2889	19,92	3000	96	-
1	MUESTRA CON 1,9% POLIURIA	19/07/2018	2/08/2018	14	252,0	50	50	50	2500	2016	49,2	200,7	2854	19,68	3000	95	-
1	MUESTRA CON 1,9% POLIURIA	19/07/2018	2/08/2018	14	250,8	50	50	50	2500	2006	49,3	201,1	2860	19,72	3000	95	-
1	MUESTRA CON 1,9% POLIURIA	16/07/2018	13/08/2018	28	252,4	50	50	50	2500	2019	37,9	154,6	2199	15,16	3000	73	-
1	MUESTRA CON 1,9% POLIURIA	16/07/2018	13/08/2018	28	252,7	50	50	50	2500	2022	38,4	156,6	2228	15,36	3000	74	-
1	MUESTRA CON 1,9% POLIURIA	16/07/2018	13/08/2018	28	252,2	50	50	50	2500	2018	37,7	153,8	2187	15,08	3000	73	-

Nota: (Fuente: Elaboración Propia Villadiego Natali, Vásquez Loraine)

De acuerdo a la ecuación (3) se tiene la densidad de un mortero que retiene el tamiz No. 50 para los 7 días de curado con porcentaje de poliurea de 4 %

$$\text{Densidad (kg/m}^3\text{)} = \left(\frac{250.0g}{1000} \right) / (2500\text{mm}^2 * 50\text{mm}) * 1000^3 = 2000 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Densidad (kg/m}^3\text{)} = \left(\frac{249.7g}{1000} \right) / (2500\text{mm}^2 * 50\text{mm}) * 1000^3 = 1998 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Densidad (kg/m}^3\text{)} = \left(\frac{249.8g}{1000} \right) / (2500\text{mm}^2 * 50\text{mm}) * 1000^3 = 1998 \text{ kg/m}^3$$

De acuerdo a la ecuación (3) se tiene la densidad de un mortero que retiene el tamiz No. 50 para los 14 días de curado con porcentaje de poliurea de 4 %

$$\text{Densidad (kg/m}^3\text{)} = \left(\frac{248.1g}{1000} \right) / (2500\text{mm}^2 * 50\text{mm}) * 1000^3 = 1985 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Densidad (kg/m}^3\text{)} = \left(\frac{247.9g}{1000} \right) / (2500\text{mm}^2 * 50\text{mm}) * 1000^3 = 1983 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Densidad (kg/m}^3\text{)} = \left(\frac{247.5g}{1000} \right) / (2500\text{mm}^2 * 50\text{mm}) * 1000^3 = 1980 \text{ kg/m}^3$$

De acuerdo a la ecuación (3) se tiene la densidad de un mortero que retiene el tamiz No. 50 para los 28 días de curado con porcentaje de poliurea de 4 %

$$\text{Densidad (kg/m}^3\text{)} = \left(\frac{241.4g}{1000} \right) / (2500\text{mm}^2 * 50\text{mm}) * 1000^3 = 1931 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Densidad (kg/m}^3\text{)} = \left(\frac{242.5g}{1000} \right) / (2500\text{mm}^2 * 50\text{mm}) * 1000^3 = 1940 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Densidad (kg/m}^3\text{)} = \left(\frac{242.1g}{1000} \right) / (2500\text{mm}^2 * 50\text{mm}) * 1000^3 = 1937 \text{ kg/m}^3$$

Con base a la formula (4) se obtienen los valores de Esfuerzo (kg/cm²) que retiene el tamiz No. 50 a los 7 días de curado con porcentaje de poliurea de 4 %.

$$\text{Esfuerzo (kg/cm}^2\text{)} = \frac{38.1 \text{ KN} * 101.9716}{2500\text{mm}^2} * 10^2 = 155.4 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Esfuerzo (kg/cm}^2\text{)} = \frac{37.8 \text{ KN} * 101.9716}{2500\text{mm}^2} * 10^2 = 154.2 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Esfuerzo (kg/cm}^2\text{)} = \frac{38.0 \text{ KN} * 101.9716}{2500\text{mm}^2} * 10^2 = 155.0 \text{ kg/cm}^2$$

Con base a la formula (4) se obtienen los valores de Esfuerzo (kg/cm²) que retiene el tamiz No. 50 a los 14 días de curado con porcentaje de poliurea de 4 %.

$$\text{Esfuerzo (kg/cm}^2\text{)} = \frac{44.3 \text{ KN} * 101.9716}{2500 \text{ mm}^2} * 10^2 = 180.7 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Esfuerzo (kg/cm}^2\text{)} = \frac{44.9 \text{ KN} * 101.9716}{2500 \text{ mm}^2} * 10^2 = 183.1 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Esfuerzo (kg/cm}^2\text{)} = \frac{44.0 \text{ KN} * 101.9716}{2500 \text{ mm}^2} * 10^2 = 179.5 \text{ kg/cm}^2$$

Con base a la formula (4) se obtienen los valores de Esfuerzo (kg/cm²) que retiene el tamiz No. 50 a los 28 días de curado con porcentaje de poliurea de 4 %.

$$\text{Esfuerzo (kg/cm}^2\text{)} = \frac{29.6 \text{ KN} * 101.9716}{2500 \text{ mm}^2} * 10^2 = 120.7 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Esfuerzo (kg/cm}^2\text{)} = \frac{30.4 \text{ KN} * 101.9716}{2500 \text{ mm}^2} * 10^2 = 124.0 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Esfuerzo (kg/cm}^2\text{)} = \frac{29.1 \text{ KN} * 101.9716}{2500 \text{ mm}^2} * 10^2 = 118.7 \text{ kg/cm}^2$$

De la ecuación (5) hallamos Esfuerzo (MPa) de los morteros que retiene el tamiz No. 50 con 7 días de curado a un porcentaje de 4 %.

$$\text{Esfuerzo (MPa)} = \frac{38.1 \text{ KN} * 1000}{2500 \text{ mm}^2} = 15.24 \text{ MPa}$$

$$\text{Esfuerzo (MPa)} = \frac{37.8 \text{ KN} * 1000}{2500 \text{ mm}^2} = 15.12 \text{ MPa}$$

$$\text{Esfuerzo (MPa)} = \frac{38.0 \text{ KN} * 1000}{2500 \text{ mm}^2} = 15.20 \text{ MPa}$$

De la ecuación (5) hallamos Esfuerzo (MPa) de los morteros que retiene el tamiz No. 50 con 14 días de curado a un porcentaje de 4 %.

$$\text{Esfuerzo (MPa)} = \frac{44.3 \text{ KN} * 1000}{2500 \text{ mm}^2} = 17.72 \text{ MPa}$$

$$\text{Esfuerzo (MPa)} = \frac{44.9 \text{ KN} \cdot 1000}{2500 \text{ mm}^2} = 17.96 \text{ MPa}$$

$$\text{Esfuerzo (MPa)} = \frac{44.0 \text{ KN} \cdot 1000}{2500 \text{ mm}^2} = 17.60 \text{ MPa}$$

De la ecuación (5) hallamos Esfuerzo (MPa) de los morteros que retiene el tamiz No. 50 con 28 días de curado a un porcentaje de 4 %.

$$\text{Esfuerzo (MPa)} = \frac{29.6 \text{ KN} \cdot 1000}{2500 \text{ mm}^2} = 11.84 \text{ MPa}$$

$$\text{Esfuerzo (MPa)} = \frac{30.4 \text{ KN} \cdot 1000}{2500 \text{ mm}^2} = 12.16 \text{ MPa}$$

$$\text{Esfuerzo (MPa)} = \frac{29.1 \text{ KN} \cdot 1000}{2500 \text{ mm}^2} = 11.64 \text{ MPa}$$

De la ecuación (6) tenemos el ESFUERZO (psi) de los morteros que retiene el tamiz No. 50 con 7 días de curado a un porcentaje de 4 %.

$$\text{Esfuerzo (psi)} = 15.24 \text{ (mpa)} \cdot 145.04 = 2210 \text{ (psi)}$$

$$\text{Esfuerzo (psi)} = 15.12 \text{ (mpa)} \cdot 145.04 = 2193 \text{ (psi)}$$

$$\text{Esfuerzo (psi)} = 15.20 \text{ (mpa)} \cdot 145.04 = 2205 \text{ (psi)}$$

De la ecuación (6) tenemos el Esfuerzo (psi) de los morteros que retiene el tamiz No. 50 con 14 días de curado a un porcentaje de 4 %.

$$\text{Esfuerzo (Psi)} = 17.72 \text{ (Mpa)} \cdot 145.04 = 2570 \text{ (Psi)}$$

$$\text{Esfuerzo (Psi)} = 17.96 \text{ (Mpa)} \cdot 145.04 = 2605 \text{ (Psi)}$$

$$\text{Esfuerzo (Psi)} = 17.60 \text{ (Mpa)} \cdot 145.04 = 2553 \text{ (psi)}$$

De la ecuación (6) tenemos el Esfuerzo (psi) de los morteros que retiene el tamiz No. 50 con 28 días de curado a un porcentaje de 4 %.

$$\text{Esfuerzo (Psi)} = 11.84 \text{ (Mpa)} * 145,04 = 1717 \text{ (Psi)}$$

$$\text{Esfuerzo (Psi)} = 12.16 \text{ (Mpa)} * 145,04 = 1764 \text{ (Psi)}$$

$$\text{Esfuerzo (Psi)} = 11.64 \text{ (Mpa)} * 145,04 = 1688 \text{ (Psi)}$$

De la ecuación (7) tenemos el para él % Resistencia que retiene tamiz No. 50 con 7 días de curado a un porcentaje de 4 %.

$$\% \text{ Resistencia} = \frac{2210 \text{ (PSI)}}{3000 \text{ PSI}} * 100 = 74\%$$

$$\% \text{ Resistencia} = \frac{2193 \text{ (PSI)}}{3000 \text{ PSI}} * 100 = 73\%$$

$$\% \text{ Resistencia} = \frac{2205 \text{ (PSI)}}{3000 \text{ PSI}} * 100 = 73\%$$

De la ecuación (7) tenemos el para él % Resistencia que retiene tamiz No. 50 con 14 días de curado a un porcentaje de 4 %.

$$\% \text{ Resistencia} = \frac{2570 \text{ (PSI)}}{3000 \text{ PSI}} * 100 = 86\%$$

$$\% \text{ Resistencia} = \frac{2605 \text{ (PSI)}}{3000 \text{ PSI}} * 100 = 87\%$$

$$\% \text{ Resistencia} = \frac{2553 \text{ (PSI)}}{3000 \text{ PSI}} * 100 = 85\%$$

De la ecuación (7) tenemos el para él % Resistencia que retiene tamiz No. 50 con 28 días de curado a un porcentaje de 4 %.

$$\% \text{ Resistencia} = \frac{1717 \text{ (PSI)}}{3000 \text{ PSI}} * 100 = 57\%$$

$$\% \text{ Resistencia} = \frac{1764 \text{ (PSI)}}{3000 \text{ PSI}} * 100 = 59\%$$

$$\% \text{ Resistencia} = \frac{1688 \text{ (PSI)}}{3000 \text{ PSI}} * 100 = 56\%$$

Tabla 26.

Resultados de resistencia a la tracción de morteros preparados con poliurea tamiz No. 50 con porcentaje de aditivo del 4%.

Cubo Nº	Muestra Nº	Localización Obra	Fecha de toma	Fecha de rotura	Edad (Días)	Peso (g)	Long. (mm)	Ancho (mm)	Altura (mm)	Área (mm ²)	Densidad (kg/m ³)	Carga máxima (kN)	Esfuerzo (kg/cm ²)	ESFUERZO (psi)	Esfuerzo (MPa)	RESISTENCIA ESPECIFICACIÓN P.S.I.	% Resistencia	Defectos muestra
10	2	MUESTRA CON 3,8% POLIURIA	18/07/2018	25/07/2018	7	250,0	50	50	50	2500	2000	38,1	155,4	2210	15,24	3000	74	-
11	2	MUESTRA CON 3,8% POLIURIA	18/07/2018	25/07/2018	7	249,7	50	50	50	2500	1998	37,8	154,2	2193	15,12	3000	73	-
12	2	MUESTRA CON 3,8% POLIURIA	18/07/2018	25/07/2018	7	249,8	50	50	50	2500	1998	38,0	155,0	2205	15,20	3000	73	-
13	2	MUESTRA CON 3,8% POLIURIA	17/07/2018	31/07/2018	14	248,1	50	50	50	2500	1985	44,3	180,7	2570	17,72	3000	86	-
14	2	MUESTRA CON 3,8% POLIURIA	17/07/2018	31/07/2018	14	247,9	50	50	50	2500	1983	44,9	183,1	2605	17,96	3000	87	-
15	2	MUESTRA CON 3,8% POLIURIA	17/07/2018	31/07/2018	14	247,5	50	50	50	2500	1980	44,0	179,5	2553	17,60	3000	85	-
16	2	MUESTRA CON 3,8% POLIURIA	16/07/2018	13/08/2018	28	241,4	50	50	50	2500	1931	29,6	120,7	1717	11,84	3000	57	-
17	2	MUESTRA CON 3,8% POLIURIA	16/07/2018	13/08/2018	28	242,5	50	50	50	2500	1940	30,4	124,0	1764	12,16	3000	59	-
18	2	MUESTRA CON 3,8% POLIURIA	16/07/2018	13/08/2018	28	242,1	50	50	50	2500	1937	29,1	118,7	1688	11,64	3000	56	-

Nota: (Fuente: Elaboración Propia Villadiego Natali, Vásquez Loraine)

De acuerdo a la ecuación (3) se tiene la densidad de un mortero que retiene el tamiz No. 50 para los 7 días de curado con porcentaje de poliurea de 5 %

$$\text{Densidad (kg/m}^3\text{)} = \left(\frac{245.3g}{1000} \right) / (2500\text{mm}^2 * 50\text{mm}) * 1000^3 = 1962 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Densidad (kg/m}^3\text{)} = \left(\frac{246.0g}{1000} \right) / (2500\text{mm}^2 * 50\text{mm}) * 1000^3 = 1968 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Densidad (kg/m}^3\text{)} = \left(\frac{246.8g}{1000} \right) / (2500\text{mm}^2 * 50\text{mm}) * 1000^3 = 1974 \text{ kg/m}^3$$

De acuerdo a la ecuación (3) se tiene la densidad de un mortero que retiene el tamiz No. 50 para los 14 días de curado con porcentaje de poliurea de 5 %

$$\text{Densidad (kg/m}^3\text{)} = \left(\frac{244.8g}{1000} \right) / (2500\text{mm}^2 * 50\text{mm}) * 1000^3 = 1958 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Densidad (kg/m}^3\text{)} = \left(\frac{247.5g}{1000} \right) / (2500\text{mm}^2 * 50\text{mm}) * 1000^3 = 1980 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Densidad (kg/m}^3\text{)} = \left(\frac{246.3g}{1000} \right) / (2500\text{mm}^2 * 50\text{mm}) * 1000^3 = 1970 \text{ kg/m}^3$$

De acuerdo a la ecuación (3) se tiene la densidad de un mortero que retiene el tamiz No.50 para los 28 días de curado con porcentaje de poliurea de 5 %

$$\text{Densidad (kg/m}^3\text{)} = \left(\frac{252.6g}{1000} \right) / (2500\text{mm}^2 * 50\text{mm}) * 1000^3 = 2021 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Densidad (kg/m}^3\text{)} = \left(\frac{253.0g}{1000} \right) / (2500\text{mm}^2 * 50\text{mm}) * 1000^3 = 2024 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Densidad (kg/m}^3\text{)} = \left(\frac{253.1g}{1000} \right) / (2500\text{mm}^2 * 50\text{mm}) * 1000^3 = 2025 \text{ kg/m}^3$$

Con base a la formula (4) se obtienen los valores de Esfuerzo (kg/cm²) de los morteros que retiene el tamiz No. 50 a los 7 días de curado con porcentaje de poliurea de 5 %.

$$\text{Esfuerzo (kg/cm}^2\text{)} = \frac{28.9 \text{ KN} * 101.9716}{2500\text{mm}^2} * 10^2 = 117.9 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Esfuerzo (kg/cm}^2\text{)} = \frac{29.1 \text{ KN} * 101.9716}{2500\text{mm}^2} * 10^2 = 118.7 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Esfuerzo (kg/cm}^2\text{)} = \frac{28.8 \text{ KN} * 101.9716}{2500\text{mm}^2} * 10^2 = 117.5 \text{ kg/cm}^2$$

Con base a la formula (4) se obtienen los valores de Esfuerzo (kg/cm²) de los morteros que retiene el tamiz No. 50 a los 14 días de curado con porcentaje de poliurea de 5 %.

$$\text{Esfuerzo (kg/cm}^2\text{)} = \frac{38.1 \text{ KN} * 101.9716}{2500 \text{ mm}^2} * 10^2 = 155.4 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Esfuerzo (kg/cm}^2\text{)} = \frac{38.6 \text{ KN} * 101.9716}{2500 \text{ mm}^2} * 10^2 = 157.4 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Esfuerzo (kg/cm}^2\text{)} = \frac{38.4 \text{ KN} * 101.9716}{2500 \text{ mm}^2} * 10^2 = 156.6 \text{ kg/cm}^2$$

Con base a la formula (4) se obtienen los valores de Esfuerzo (kg/cm²) de los morteros que retiene el tamiz No. 50 a los 28 días de curado con porcentaje de poliurea de 5 %.

$$\text{Esfuerzo (kg/cm}^2\text{)} = \frac{33.5 \text{ KN} * 101.9716}{2500 \text{ mm}^2} * 10^2 = 136.6 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Esfuerzo (kg/cm}^2\text{)} = \frac{33.8 \text{ KN} * 101.9716}{2500 \text{ mm}^2} * 10^2 = 137.9 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Esfuerzo (kg/cm}^2\text{)} = \frac{32.7 \text{ KN} * 101.9716}{2500 \text{ mm}^2} * 10^2 = 133.4 \text{ kg/cm}^2$$

De la ecuación (5) hallamos Esfuerzo (MPa) de cada mortero que retiene el tamiz No. 50 con 7 días de curado a un porcentaje de 5 %.

$$\text{Esfuerzo (MPa)} = \frac{28.9 \text{ KN} * 1000}{2500 \text{ mm}^2} = 11.56 \text{ MPa}$$

$$\text{Esfuerzo (MPa)} = \frac{29.1 \text{ KN} * 1000}{2500 \text{ mm}^2} = 11.64 \text{ MPa}$$

$$\text{Esfuerzo (MPa)} = \frac{28.8 \text{ KN} * 1000}{2500 \text{ mm}^2} = 11.52 \text{ MPa}$$

De la ecuación (5) hallamos Esfuerzo (MPa) de cada mortero que retiene el tamiz No. 50 con 14 días de curado a un porcentaje de 5 %.

$$\text{Esfuerzo (MPa)} = \frac{38.1 \text{ KN} * 1000}{2500 \text{ mm}^2} = 15.24 \text{ MPa}$$

$$\text{Esfuerzo (MPa)} = \frac{38.6 \text{ KN} * 1000}{2500 \text{ mm}^2} = 15.44 \text{ MPa}$$

$$\text{Esfuerzo (MPa)} = \frac{38.4 \text{ KN} * 1000}{2500 \text{ mm}^2} = 15.36 \text{ MPa}$$

De la ecuación (5) hallamos Esfuerzo (MPa) de cada mortero que retiene el tamiz No. 50 con 28 días de curado a un porcentaje de 5 %.

$$\text{Esfuerzo (MPa)} = \frac{33.5KN \cdot 1000}{2500mm^2} = 13.40 \text{ MPa}$$

$$\text{Esfuerzo (MPa)} = \frac{33.8KN \cdot 1000}{2500mm^2} = 13.52 \text{ MPa}$$

$$\text{Esfuerzo (MPa)} = \frac{32.7KN \cdot 1000}{2500mm^2} = 13.08 \text{ MPa}$$

De la ecuación (6) tenemos El Esfuerzo (Psi) de cada mortero que retiene el tamiz No. 50 con 7 días de curado a un porcentaje de 5 %.

$$\text{Esfuerzo (Psi)} = 11.56 \text{ (Mpa)} \cdot 145.04 = 1677 \text{ (Psi)}$$

$$\text{Esfuerzo (Psi)} = 11.64 \text{ (Mpa)} \cdot 145.04 = 1688 \text{ (Psi)}$$

$$\text{Esfuerzo (Psi)} = 11.52 \text{ (Mpa)} \cdot 145.04 = 1671 \text{ (Psi)}$$

De la ecuación (6) tenemos el Esfuerzo (Psi) de cada mortero que retiene el tamiz No. 50 con 14 días de curado a un porcentaje de 5 %.

$$\text{Esfuerzo (Psi)} = 15.24 \text{ (Mpa)} \cdot 145.04 = 2210 \text{ (Psi)}$$

$$\text{Esfuerzo (Psi)} = 15.44 \text{ (Mpa)} \cdot 145.04 = 2239 \text{ (Psi)}$$

$$\text{Esfuerzo (Psi)} = 15.36 \text{ (MPa)} \cdot 145.04 = 2228 \text{ (psi)}$$

De la ecuación (6) tenemos El Esfuerzo (Psi) de cada mortero que retiene el tamiz No. 50 con 28 días de curado a un porcentaje de 5 %.

$$\text{Esfuerzo (Psi)} = 13.40 \text{ (Mpa)} \cdot 145.04 = 1944 \text{ (Psi)}$$

$$\text{Esfuerzo (Psi)} = 13.52 \text{ (Mpa)} * 145,04 = 1961 \text{ (Psi)}$$

$$\text{Esfuerzo (Psi)} = 13.08 \text{ (Mpa)} * 145,04 = 1897 \text{ (Psi)}$$

De la ecuación (7) tenemos el para el % Resistencia de cada mortero que retiene el tamiz No. 50 con 7 días de curado a un porcentaje de 5 %.

$$\% \text{ Resistencia} = \frac{1677 \text{ (PSI)}}{3000 \text{ PSI}} * 100 = 56\%$$

$$\% \text{ Resistencia} = \frac{1688 \text{ (PSI)}}{3000 \text{ PSI}} * 100 = 56\%$$

$$\% \text{ Resistencia} = \frac{1671 \text{ (PSI)}}{3000 \text{ PSI}} * 100 = 56\%$$

De la ecuación (7) tenemos el para el % Resistencia de cada mortero que retiene el tamiz No. 50 con 14 días de curado a un porcentaje de 5 %.

$$\% \text{ Resistencia} = \frac{2210 \text{ (PSI)}}{3000 \text{ PSI}} * 100 = 74\%$$

$$\% \text{ Resistencia} = \frac{2239 \text{ (PSI)}}{3000 \text{ PSI}} * 100 = 75\%$$

$$\% \text{ Resistencia} = \frac{2228 \text{ (PSI)}}{3000 \text{ PSI}} * 100 = 74\%$$

De la ecuación (7) tenemos el para el % Resistencia de cada mortero que retiene el tamiz No. 50 con 28 días de curado a un porcentaje de 5 %.

$$\% \text{ Resistencia} = \frac{1944 \text{ (PSI)}}{3000 \text{ PSI}} * 100 = 65\%$$

$$\% \text{ Resistencia} = \frac{1961 \text{ (PSI)}}{3000 \text{ PSI}} * 100 = 65\%$$

$$\% \text{ Resistencia} = \frac{1897(PSI)}{3000 PSI} * 100 = 63\%$$

Tabla 27.

Resultados de resistencia a la tracción de morteros preparados con poliurea tamiz No. 50 con porcentaje de aditivo del 5%.

Muestra Nº	Localización Obra	Fecha de toma	Fecha de rotura	Edad (Días)	Peso (g)	Long. (mm)	Ancho (mm)	Altura (mm)	Área (mm ²)	Densidad (kg/m ³)	Carga máxima (kN)	Esfuerzo (kg/cm ²)	ESFUERZO (psi)	Esfuerzo (MPa)	RESISTENCIA ESPECIFICACIÓN P.S.I.	% Resistencia	Defectos muestra
3	MUESTRA CON 5% POLIURIA	26/07/2018	2/08/2018	7	245,3	50	50	50	2500	1962	28,9	117,9	1677	11,56	3000	56	-
3	MUESTRA CON 5% POLIURIA	26/07/2018	2/08/2018	7	246,0	50	50	50	2500	1968	29,1	118,7	1688	11,64	3000	56	-
3	MUESTRA CON 5% POLIURIA	26/07/2018	2/08/2018	7	246,8	50	50	50	2500	1974	28,8	117,5	1671	11,52	3000	56	-
3	MUESTRA CON 5% POLIURIA	26/07/2018	9/08/2018	14	244,8	50	50	50	2500	1958	38,1	155,4	2210	15,24	3000	74	-
3	MUESTRA CON 5% POLIURIA	26/07/2018	9/08/2018	14	247,5	50	50	50	2500	1980	38,6	157,4	2239	15,44	3000	75	-
3	MUESTRA CON 5% POLIURIA	26/07/2018	9/08/2018	14	246,3	50	50	50	2500	1970	38,4	156,6	2228	15,36	3000	74	-
3	MUESTRA CON 5% POLIURIA	27/07/2018	24/08/2018	28	252,6	50	50	50	2500	2021	33,5	136,6	1944	13,40	3000	65	-
3	MUESTRA CON 5% POLIURIA	27/07/2018	24/08/2018	28	253,0	50	50	50	2500	2024	33,8	137,9	1961	13,52	3000	65	-
3	MUESTRA CON 5% POLIURIA	27/07/2018	24/08/2018	28	253,1	50	50	50	2500	2025	32,7	133,4	1897	13,08	3000	63	-

Nota: (Fuente: Elaboración Propia Villadiego Natali, Vásquez Loraine)

De acuerdo a la ecuación (3) se tiene la densidad de un mortero que retiene del tamiz No. 50 para los 7 días de curado con porcentaje de aditivo del 11%.

$$\text{Densidad (kg/m}^3\text{)} = \left(\frac{248.6g}{1000} \right) / (2500\text{mm}^2 * 50\text{mm}) * 1000^3 = 1988800 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Densidad (kg/m}^3\text{)} = \left(\frac{249.0g}{1000} \right) / (2500\text{mm}^2 * 50\text{mm}) * 1000^3 = 1992000 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Densidad (kg/m}^3\text{)} = \left(\frac{248.3g}{1000} \right) / (2500\text{mm}^2 * 50\text{mm}) * 1000^3 = 1986400 \text{ kg/m}^3$$

De acuerdo a la ecuación (3) se tiene la densidad de un mortero que retiene del tamiz No. 50 para los 14 días de curado con porcentaje de aditivo del 11%.

$$\text{Densidad (kg/m}^3\text{)} = \left(\frac{234.5g}{1000}\right) / (2500\text{mm}^2 * 50\text{mm}) * 1000^3 = 1876000 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Densidad (kg/m}^3\text{)} = \left(\frac{233.0g}{1000}\right) / (2500\text{mm}^2 * 50\text{mm}) * 1000^3 = 1864000 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Densidad (kg/m}^3\text{)} = \left(\frac{234.4g}{1000}\right) / (2500\text{mm}^2 * 50\text{mm}) * 1000^3 = 1875200 \text{ kg/m}^3$$

De acuerdo a la ecuación (3) se tiene la densidad de un mortero que retiene del tamiz No. 50 para los 28 días de curado con porcentaje de aditivo del 11%.

$$\text{Densidad (kg/m}^3\text{)} = \left(\frac{232.1g}{1000}\right) / (2500\text{mm}^2 * 50\text{mm}) * 1000^3 = 1856800 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Densidad (kg/m}^3\text{)} = \left(\frac{232.3g}{1000}\right) / (2500\text{mm}^2 * 50\text{mm}) * 1000^3 = 1858400 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Densidad (kg/m}^3\text{)} = \left(\frac{232.4g}{1000}\right) / (2500\text{mm}^2 * 50\text{mm}) * 1000^3 = 1859200 \text{ kg/m}^3$$

Con base a la formula (4) se obtienen los valores de Esfuerzo (kg/cm²) de un mortero que retiene el tamiz No.50 a los 7 días de curado con porcentaje de aditivo del 11%.

$$\text{Esfuerzo (kg/cm}^2\text{)} = \frac{33.4 \text{ KN} * 101.9716}{2500\text{mm}^2} * 10^2 = 136,2 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Esfuerzo (kg/cm}^2\text{)} = \frac{34.2 \text{ KN} * 101.9716}{2500\text{mm}^2} * 10^2 = 139,5 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Esfuerzo (kg/cm}^2\text{)} = \frac{33.0 \text{ KN} * 101.9716}{2500\text{mm}^2} * 10^2 = 134,6 \text{ kg/cm}^2$$

Con base a la formula (4) se obtienen los valores de Esfuerzo (kg/cm²) de un mortero que retiene el tamiz No. 50 a los 14 días de curado con porcentaje de aditivo del 11%.

$$\text{Esfuerzo (kg/cm}^2\text{)} = \frac{39.3 \text{ KN} * 101.9716}{2500\text{mm}^2} * 10^2 = 160,3 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Esfuerzo (kg/cm}^2\text{)} = \frac{38.7 \text{ KN} * 101.9716}{2500 \text{ mm}^2} * 10^2 = 157,9 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Esfuerzo (kg/cm}^2\text{)} = \frac{39.2 \text{ KN} * 101.9716}{2500 \text{ mm}^2} * 10^2 = 159,9 \text{ kg/cm}^2$$

Con base a la formula (4) se obtienen los valores de Esfuerzo (kg/cm²) de un mortero que retiene el tamiz No. 50 a los 28 días de curado con porcentaje de aditivo del 11%.

$$\text{Esfuerzo (kg/cm}^2\text{)} = \frac{24.0 \text{ KN} * 101.9716}{2500 \text{ mm}^2} * 10^2 = 97,9 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Esfuerzo (kg/cm}^2\text{)} = \frac{24.9 \text{ KN} * 101.9716}{2500 \text{ mm}^2} * 10^2 = 101,6 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Esfuerzo (kg/cm}^2\text{)} = \frac{25.1 \text{ KN} * 101.9716}{2500 \text{ mm}^2} * 10^2 = 102,4 \text{ kg/cm}^2$$

De la ecuación (5) hallamos Esfuerzo (MPa) de un mortero que retiene el tamiz No. 50 con 7 días de curado con porcentaje de aditivo del 11%.

$$\text{Esfuerzo (MPa)} = \frac{33.4 \text{ KN} * 1000}{2500 \text{ mm}^2} = 13,36 \text{ MPa}$$

$$\text{Esfuerzo (MPa)} = \frac{34.2 \text{ KN} * 1000}{2500 \text{ mm}^2} = 13,68 \text{ MPa}$$

$$\text{Esfuerzo (MPa)} = \frac{33.0 \text{ KN} * 1000}{2500 \text{ mm}^2} = 13,20 \text{ MPa}$$

De la ecuación (5) hallamos Esfuerzo (MPa) de un mortero que retiene el tamiz No. 50 con 14 días de curado con porcentaje de aditivo del 11%.

$$\text{Esfuerzo (MPa)} = \frac{39.3 \text{ KN} * 1000}{2500 \text{ mm}^2} = 15,72 \text{ MPa}$$

$$\text{Esfuerzo (MPa)} = \frac{38.7 \text{ KN} * 1000}{2500 \text{ mm}^2} = 15,48 \text{ MPa}$$

$$\text{Esfuerzo (MPa)} = \frac{39.2 \text{ KN} * 1000}{2500 \text{ mm}^2} = 15,68 \text{ MPa}$$

De la ecuación (5) hallamos Esfuerzo (MPa) de un mortero que retiene el tamiz No. 50 con 28 días de curado con porcentaje de aditivo del 11%.

$$\text{Esfuerzo (MPa)} = \frac{24.0 \text{ KN} * 1000}{2500 \text{ mm}^2} = 9,60 \text{ MPa}$$

$$\text{Esfuerzo (MPa)} = \frac{24.9 \text{ KN} * 1000}{2500 \text{ mm}^2} = 9,96 \text{ MPa}$$

$$\text{Esfuerzo (MPa)} = \frac{25.1 \text{ KN} * 1000}{2500 \text{ mm}^2} = 10,04 \text{ MPa}$$

De la ecuación (6) tenemos el esfuerzo (psi) de un mortero que retiene el tamiz No. 50 con 7 días de curado con porcentaje de aditivo del 11%.

$$\text{Esfuerzo (psi)} = 13.36 \text{ (MPa)} * 145,04 = 1938 \text{ (psi)}$$

$$\text{Esfuerzo (psi)} = 13.68 \text{ (MPa)} * 145,04 = 1984 \text{ (psi)}$$

$$\text{Esfuerzo (psi)} = 13.20 \text{ (MPa)} * 145,04 = 1915 \text{ (psi)}$$

De la ecuación (6) tenemos el esfuerzo (psi) de un mortero que retiene el tamiz No. 50 con 14 días de curado con porcentaje de aditivo del 11%.

$$\text{Esfuerzo (psi)} = 15.72 \text{ (MPa)} * 145,04 = 2280 \text{ (psi)}$$

$$\text{Esfuerzo (psi)} = 15.48 \text{ (MPa)} * 145,04 = 2245 \text{ (psi)}$$

$$\text{Esfuerzo (psi)} = 15.68 \text{ (MPa)} * 145,04 = 2274 \text{ (psi)}$$

De la ecuación (6) tenemos el esfuerzo (psi) de un mortero que retiene el tamiz No. 50 con 28 días de curado con porcentaje de aditivo del 11%.

$$\text{Esfuerzo (psi)} = 9.60 \text{ (MPa)} * 145,04 = 1392 \text{ (psi)}$$

$$\text{Esfuerzo (psi)} = 9.96 \text{ (MPa)} * 145,04 = 1445 \text{ (psi)}$$

$$\text{Esfuerzo (psi)} = 10.04 \text{ (MPa)} * 145,04 = 1456 \text{ (psi)}$$

De la ecuación (7) tenemos el % Resistencia de un mortero que retiene el tamiz No. 50 con 7 días de curado con porcentaje de aditivo del 11%.

$$\% \text{ Resistencia} = \frac{1938(PSI)}{3000 PSI} * 100 = 65 \%$$

$$\% \text{ Resistencia} = \frac{1984(PSI)}{3000 PSI} * 100 = 66 \%$$

$$\% \text{ Resistencia} = \frac{1915(PSI)}{3000 PSI} * 100 = 64 \%$$

De la ecuación (7) tenemos el % Resistencia de un mortero que retiene el tamiz No. 50 con 14 días de curado con porcentaje de aditivo del 11%.

$$\% \text{ Resistencia} = \frac{2280(PSI)}{3000 PSI} * 100 = 76 \%$$

$$\% \text{ Resistencia} = \frac{2245(PSI)}{3000 PSI} * 100 = 75 \%$$

$$\% \text{ Resistencia} = \frac{2274(PSI)}{3000 PSI} * 100 = 76 \%$$

De la ecuación (7) tenemos el % Resistencia de un mortero que retiene el tamiz No. 50 con 28 días de curado con porcentaje de aditivo del 11%.

$$\% \text{ Resistencia} = \frac{1392(PSI)}{3000 PSI} * 100 = 46 \%$$

$$\% \text{ Resistencia} = \frac{1445(PSI)}{3000 PSI} * 100 = 48 \%$$

$$\% \text{ Resistencia} = \frac{1456(PSI)}{3000 PSI} * 100 = 49 \%$$

Tabla 28.

Resultados de resistencia a la tracción de morteros preparados con poliurea tamiz No. 50 con porcentaje de aditivo del 11%.

Cubo Nº	Muestra Nº	Localización Obra	Fecha de toma	Fecha de rotura	Edad (Días)	Peso (g)	Long. (mm)	Ancho (mm)	Altura (mm)	Área (mm ²)	Densidad (kg/m ³)	Carga máxima (kN)	Esfuerzo (kg/cm ²)	ESFUERZO (psi)	Esfuerzo (MPa)	RESISTENCIA ESPECÍFICA (P.S.I.)	% Resistencia	Defectos muestra
1	0	11,4% POLIURIA	18/07/2018	25/07/2018	7	248,6	50	50	50	2500	1988800	33,4	136,2	1938	13,36	3000	65	-
2	0	11,4% POLIURIA	18/07/2018	25/07/2018	7	249,0	50	50	50	2500	1992000	34,2	139,5	1984	13,68	3000	66	-
3	0	11,4% POLIURIA	18/07/2018	25/07/2018	7	248,3	50	50	50	2500	1986400	33,0	134,6	1915	13,20	3000	64	-
4	0	11,4% POLIURIA	14/07/2018	28/07/2018	14	234,5	50	50	50	2500	1876000	39,3	160,3	2280	15,72	3000	76	-
5	0	11,4% POLIURIA	14/07/2018	28/07/2018	14	233,0	50	50	50	2500	1864000	38,7	157,9	2245	15,48	3000	75	-
6	0	11,4% POLIURIA	14/07/2018	28/07/2018	14	234,4	50	50	50	2500	1875200	39,2	159,9	2274	15,68	3000	76	-
7	0	11,4% POLIURIA	18/07/2018	15/08/2018	28	232,1	50	50	50	2500	1856800	24,0	97,9	1392	9,60	3000	46	-
8	0	11,4% POLIURIA	18/07/2018	15/08/2018	28	232,3	50	50	50	2500	1858400	24,9	101,6	1445	9,96	3000	48	-
9	0	11,4% POLIURIA	18/07/2018	15/08/2018	28	232,4	50	50	50	2500	1859200	25,1	102,4	1456	10,04	3000	49	-

Nota: (Fuente: Elaboración Propia Villadiego Natali, Vásquez Loraine)

Realizamos una muestra control, morteros sin aditivo de los cuales se obtuvieron los siguientes datos.

De acuerdo a la ecuación (3) se tiene la densidad de un mortero que retiene del tamiz No. 50 para los 7 días de curado sin aditivo.

$$\text{Densidad (kg/m}^3\text{)} = \left(\frac{239.3g}{1000} \right) / (2500\text{mm}^2 * 50\text{mm}) * 1000^3 = 1914 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Densidad (kg/m}^3\text{)} = \left(\frac{238.0g}{1000} \right) / (2500\text{mm}^2 * 50\text{mm}) * 1000^3 = 1904 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Densidad (kg/m}^3\text{)} = \left(\frac{238.5g}{1000} \right) / (2500\text{mm}^2 * 50\text{mm}) * 1000^3 = 1908 \text{ kg/m}^3$$

De acuerdo a la ecuación (3) se tiene la densidad de un mortero que retiene del tamiz No. 50 para los 14 días de curado sin aditivo.

$$\text{Densidad (kg/m}^3\text{)} = \left(\frac{238.2g}{1000} \right) / (2500\text{mm}^2 * 50\text{mm}) * 1000^3 = 1906 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Densidad (kg/m}^3\text{)} = \left(\frac{238.3g}{1000} \right) / (2500\text{mm}^2 * 50\text{mm}) * 1000^3 = 1906 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Densidad (kg/m}^3\text{)} = \left(\frac{239.0g}{1000} \right) / (2500\text{mm}^2 * 50\text{mm}) * 1000^3 = 1912 \text{ kg/m}^3$$

De acuerdo a la ecuación (3) se tiene la densidad de un mortero que retiene del tamiz No. 50 para los 28 días de curado sin aditivo.

$$\text{Densidad (kg/m}^3\text{)} = \left(\frac{250.3g}{1000} \right) / (2500\text{mm}^2 * 50\text{mm}) * 1000^3 = 2002 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Densidad (kg/m}^3\text{)} = \left(\frac{249.8g}{1000} \right) / (2500\text{mm}^2 * 50\text{mm}) * 1000^3 = 1998 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Densidad (kg/m}^3\text{)} = \left(\frac{249.5g}{1000} \right) / (2500\text{mm}^2 * 50\text{mm}) * 1000^3 = 1996 \text{ kg/m}^3$$

Con base a la formula (4) se obtienen los valores de Esfuerzo (kg/cm²) de un mortero que retiene el tamiz No. 50 a los 7 días de curado sin poliurea.

$$\text{Esfuerzo (kg/cm}^2\text{)} = \frac{36.0 \text{ KN} * 101.9716}{2500\text{mm}^2} * 10^2 = 146.8 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Esfuerzo (kg/cm}^2\text{)} = \frac{36.6 \text{ KN} * 101.9716}{2500\text{mm}^2} * 10^2 = 149.3 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Esfuerzo (kg/cm}^2\text{)} = \frac{35.5 \text{ KN} * 101.9716}{2500\text{mm}^2} * 10^2 = 144.8 \text{ kg/cm}^2$$

Con base a la formula (4) se obtienen los valores de Esfuerzo (kg/cm²) de un mortero que retiene el tamiz No. 50 a los 14 días de curado sin poliurea.

$$\text{Esfuerzo (kg/cm}^2\text{)} = \frac{44.5 \text{ KN} * 101.9716}{2500\text{mm}^2} * 10^2 = 181.5 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Esfuerzo (kg/cm}^2\text{)} = \frac{44.8 \text{ KN} * 101.9716}{2500\text{mm}^2} * 10^2 = 182.7 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Esfuerzo (kg/cm}^2\text{)} = \frac{44.3 \text{ KN} * 101.9716}{2500 \text{ mm}^2} * 10^2 = 180.7 \text{ kg/cm}^2$$

Con base a la formula (4) se obtienen los valores de Esfuerzo (kg/cm²) de un mortero que retiene el tamiz No. 50 a los 28 días de curado sin poliurea.

$$\text{Esfuerzo (kg/cm}^2\text{)} = \frac{54.6 \text{ KN} * 101.9716}{2500 \text{ mm}^2} * 10^2 = 222.7 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Esfuerzo (kg/cm}^2\text{)} = \frac{56.0 \text{ KN} * 101.9716}{2500 \text{ mm}^2} * 10^2 = 228.4 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Esfuerzo (kg/cm}^2\text{)} = \frac{55.5 \text{ KN} * 101.9716}{2500 \text{ mm}^2} * 10^2 = 226.4 \text{ kg/cm}^2$$

De la ecuación (5) hallamos Esfuerzo (MPa) de un mortero que retiene el tamiz No. 50 con 7 días de curado sin aditivo.

$$\text{Esfuerzo (MPa)} = \frac{36.0 \text{ KN} * 1000}{2500 \text{ mm}^2} = 14.40 \text{ MPa}$$

$$\text{Esfuerzo (MPa)} = \frac{36.6 \text{ KN} * 1000}{2500 \text{ mm}^2} = 14.64 \text{ MPa}$$

$$\text{Esfuerzo (MPa)} = \frac{35.5 \text{ KN} * 1000}{2500 \text{ mm}^2} = 14.20 \text{ MPa}$$

De la ecuación (5) hallamos Esfuerzo (MPa) de un mortero que retiene el tamiz No. 50 con 14 días de curado sin aditivo.

$$\text{Esfuerzo (MPa)} = \frac{44.5 \text{ KN} * 1000}{2500 \text{ mm}^2} = 17.80 \text{ MPa}$$

$$\text{Esfuerzo (MPa)} = \frac{44.8 \text{ KN} * 1000}{2500 \text{ mm}^2} = 17.92 \text{ MPa}$$

$$\text{Esfuerzo (MPa)} = \frac{44.3 \text{ KN} * 1000}{2500 \text{ mm}^2} = 17.72 \text{ MPa}$$

De la ecuación (5) hallamos Esfuerzo (MPa) de un mortero que retiene el tamiz No. 50 con 28 días de curado sin aditivo.

$$\text{Esfuerzo (MPa)} = \frac{54.6 \text{ KN} \cdot 1000}{2500 \text{ mm}^2} = 21.84 \text{ MPa}$$

$$\text{Esfuerzo (MPa)} = \frac{56.0 \text{ KN} \cdot 1000}{2500 \text{ mm}^2} = 22.40 \text{ MPa}$$

$$\text{Esfuerzo (MPa)} = \frac{55.5 \text{ KN} \cdot 1000}{2500 \text{ mm}^2} = 22.20 \text{ MPa}$$

De la ecuación (6) tenemos El Esfuerzo (psi) de un mortero que retiene el tamiz No. 50 con 7 días de curado sin aditivo.

$$\text{Esfuerzo (Psi)} = 14.40 \text{ (Mpa)} \cdot 145.04 = 2089 \text{ (Psi)}$$

$$\text{Esfuerzo (Psi)} = 14.64 \text{ (Mpa)} \cdot 145.04 = 2123 \text{ (Psi)}$$

$$\text{Esfuerzo (Psi)} = 14.20 \text{ (Mpa)} \cdot 145.04 = 2060 \text{ (Psi)}$$

De la ecuación (6) tenemos el Esfuerzo (psi) de un mortero que retiene el tamiz No. 50 con 14 días de curado sin aditivo.

$$\text{Esfuerzo (Psi)} = 17.80 \text{ (Mpa)} \cdot 145.04 = 2582 \text{ (Psi)}$$

$$\text{Esfuerzo (Psi)} = 17.92 \text{ (Mpa)} \cdot 145.04 = 2599 \text{ (Psi)}$$

$$\text{Esfuerzo (Psi)} = 17.72 \text{ (Mpa)} \cdot 145.04 = 2570 \text{ (Psi)}$$

De la ecuación (6) tenemos el Esfuerzo (Psi) de un mortero que retiene el tamiz No. 50 con 28 días de curado sin aditivo.

$$\text{Esfuerzo (Psi)} = 21.84 \text{ (Mpa)} \cdot 145.04 = 3168 \text{ (Psi)}$$

$$\text{Esfuerzo (Psi)} = 22.40 \text{ (Mpa)} * 145,04 = 3249 \text{ (Psi)}$$

$$\text{Esfuerzo (Psi)} = 22.20 \text{ (MPa)} * 145,04 = 3220 \text{ (psi)}$$

De la ecuación (7) tenemos el % Resistencia de un mortero que retiene el tamiz No. 50 con 7 días de curado sin aditivo.

$$\% \text{ Resistencia} = \frac{2089 \text{ (PSI)}}{3000 \text{ PSI}} * 100 = 70 \%$$

$$\% \text{ Resistencia} = \frac{2123 \text{ (PSI)}}{3000 \text{ PSI}} * 100 = 71 \%$$

$$\% \text{ Resistencia} = \frac{2060 \text{ (PSI)}}{3000 \text{ PSI}} * 100 = 69 \%$$

De la ecuación (7) tenemos el % Resistencia de un mortero que retiene el tamiz No. 50 con 14 días de curado sin aditivo.

$$\% \text{ Resistencia} = \frac{2582 \text{ (PSI)}}{3000 \text{ PSI}} * 100 = 86 \%$$

$$\% \text{ Resistencia} = \frac{2599 \text{ (PSI)}}{3000 \text{ PSI}} * 100 = 87 \%$$

$$\% \text{ Resistencia} = \frac{2570 \text{ (PSI)}}{3000 \text{ PSI}} * 100 = 86 \%$$

De la ecuación (7) tenemos el % Resistencia de un mortero que retiene el tamiz No. 50 con 28 días de curado sin aditivo

$$\% \text{ Resistencia} = \frac{3168 \text{ (PSI)}}{3000 \text{ PSI}} * 100 = 106 \%$$

$$\% \text{ Resistencia} = \frac{3249 \text{ (PSI)}}{3000 \text{ PSI}} * 100 = 108 \%$$

$$\% \text{ Resistencia} = \frac{3220 \text{ (PSI)}}{3000 \text{ PSI}} * 100 = 107 \%$$

Tabla 29.

Resultados de resistencia a la tracción de morteros preparados sin poliurea

Cubo Nº	Muestra Nº	Localización Obra	Fecha de toma	Fecha de rotura	Edad (Días)	Peso (g)	Long. (mm)	Ancho (mm)	Altura (mm)	Área (mm ²)	Densidad (kg/m ³)	Carga máxima (kN)	Esfuerzo (kg/cm ²)	ESFUERZO (psi)	Esfuerzo (MPa)	RESISTENCIA ESPECÍFICA ACIÓN P.S.I.	% Resistencia	Defectos muestra
28	4	MUESTRA SIN POLIURIA	3/08/2018	10/08/2018	7	239,3	50	50	50	2500	1914	36,0	146,8	2089	14,40	3000	70	-
29	4	MUESTRA SIN POLIURIA	3/08/2018	10/08/2018	7	238,0	50	50	50	2500	1904	36,6	149,3	2123	14,64	3000	71	-
30	4	MUESTRA SIN POLIURIA	3/08/2018	10/08/2018	7	238,5	50	50	50	2500	1908	35,5	144,8	2060	14,20	3000	69	-
31	4	MUESTRA SIN POLIURIA	3/08/2018	17/08/2018	14	238,2	50	50	50	2500	1906	44,5	181,5	2582	17,80	3000	86	-
32	4	MUESTRA SIN POLIURIA	3/08/2018	17/08/2018	14	238,3	50	50	50	2500	1906	44,8	182,7	2599	17,92	3000	87	-
33	4	MUESTRA SIN POLIURIA	3/08/2018	17/08/2018	14	239,0	50	50	50	2500	1912	44,3	180,7	2570	17,72	3000	86	-
34	4	MUESTRA SIN POLIURIA	28/06/2018	26/07/2018	28	250,3	50	50	50	2500	2002	54,6	222,7	3168	21,84	3000	106	-
35	4	MUESTRA SIN POLIURIA	28/06/2018	26/07/2018	28	249,8	50	50	50	2500	1998	56,0	228,4	3249	22,40	3000	108	-
36	4	MUESTRA SIN POLIURIA	28/06/2018	26/07/2018	28	249,5	50	50	50	2500	1996	55,5	226,4	3220	22,20	3000	107	-

Nota: (Fuente: Elaboración Propia Villadiego Natali, Vásquez Loraine)